



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**VÝROBA SOUČÁSTI Z PLECHU**

PRODUCTION OF SHEET METAL PART

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

David Bachurek

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2017

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: David Bachurek  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: Ing. Ladislav Žák, Ph.D.  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Výroba součástí z plechu

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Práce bude zaměřena na návrh technologie výroby zadané součásti z plechu a zpracování výkresové dokumentace tvářecího nástroje.

#### **Cíle bakalářské práce:**

1. Literární studie dané problematiky.
2. Posouzení technologičnosti výroby součástí.
3. Návrh technologie výroby součástí.
4. Konstrukční řešení nástroje.
5. Ekonomické zhodnocení.

#### **Seznam doporučené literatury:**

BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. Technológia tvárnenia, 1. vyd. Bratislava: Edícia vysokoškolských učebníc, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.

HOSFORD, William F. and Robert CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 4th ed. New York:Cambridge University Press, 2011. 331 s. ISBN 978-1-107-00452-8.

KŘÍŽ, Václav a Pavel VÁVRA. Strojírenská příručka. 1. vyd. Praha : Scientia, 1998.255 s. ISBN 807183-054-2.

SCHULER GmbH. Handbuch der Umformtechnik. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996. ISBN 3-540-61099-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

BACHUREK David: Výroba součásti z plechu.

---

Práce předkládá návrh technologie výroby ustavovacího úhelníku z pozinkovaného ocelového plechu jakosti EN10346-DX53D+Z100-M-B-C a výrobní sérii 200 000 ks·rok<sup>-1</sup>. Na základě literární studie problematiky a výpočtů bylo navrženo stříhání a ohýbání ve sdruženém postupovém nástroji. V nástroji se nacházejí normalizované komponenty a je řešeno formou stojánku upnutého na klikovém naklápěcím lisu LEN 63C od výrobce ŠMERAL Trnava se jmenovitou tvářecí silou 630 kN. Střížníky, ohybníky, střížnice a ohybnice jsou vyrobeny ze slitinové nástrojové oceli jakosti 19 436.9 tepelně zpracované podle výkresové dokumentace.

Klíčová slova: Ocel 19 436, stříhání, ohýbání, LEN 63C, postupový sdružený nástroj

## **ABSTRACT**

BACHUREK David: Production of sheet metal part.

---

The project elaborates the desing of establishing angle. It is made from 1 mm thick galvanized sheet EN10346-DX53D+Z100-M-B-C in production 200 000 parts per year. A technology of shearing and bending at progressive die tool was selected from several options as the most suitable technology of manufacturing. There are standartized parts in progressive stamping tool. Tool is designed for eccentric press LEN 63C from producer ŠMERAL Trnava. The eccentric press includes 630 kN of forming force. The function parts are made from alloy tool steel 19 436.9 with heat treatment according to technical documentation.

Keywords: 19 436 steel, shearing, bending, LEN 63C, progressive stamping tool

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BACHUREK, David. *Výroba součástí z plechu*. Brno, 2017. 47s, 8 výkresů, 7 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojího inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 26. 5. 2017

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

Také děkuji společnosti Zeveta Machinery a.s. za zrealizování celého projektu. Dále děkuji vedoucímu konstrukce Ing. Ondřejovi Švajdovi za cenné rady týkající se zpracování bakalářské práce.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

<b>ÚVOD</b> .....	9
-------------------	---

<b>1 ROZBOR ZADÁNÍ</b> .....	10
------------------------------	----

1.1 Variantní řešení.....	10
---------------------------	----

<b>2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ</b> .....	14
-------------------------------------	----

2.1 Proces stříhání.....	14
--------------------------	----

2.2 Střížná síla a práce .....	15
--------------------------------	----

2.3 Střížná vůle .....	16
------------------------	----

2.4 Technologičnost stříhaných součástí .....	17
---	----

2.5 Střížné nástroje .....	18
----------------------------	----

<b>3 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ</b> .....	21
------------------------------------	----

3.1 Proces ohýbání.....	23
-------------------------	----

3.2 Výpočet délky polotovaru.....	24
-----------------------------------	----

3.3 Ohybová síla a práce.....	24
-------------------------------	----

3.4 Odpružení.....	25
--------------------	----

3.5 Technologičnost ohýbaných součástí .....	26
--	----

3.6 Ohýbací nástroje .....	27
----------------------------	----

<b>4 NÁVRH ŘEŠENÍ</b> .....	28
-----------------------------	----

4.1 Výpočet délky polotovaru.....	30
-----------------------------------	----

4.2 Volba nástřihového plánu .....	31
------------------------------------	----

4.3 Výpočty vztažené na střížnou část.....	33
--	----

4.4 Výpočty vztažené na ohybovou část.....	35
--	----

4.5 Výpočet polohy stopky .....	36
---------------------------------	----

4.6 Volba stroje.....	38
-----------------------	----

4.7 Model nástroje .....	39
--------------------------	----

<b>5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ</b> .....	43
---	----

<b>6 ZÁVĚRY</b> .....	47
-----------------------	----

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů



## ÚVOD [1], [5], [6], [8]

Technologie tváření má důležité postavení ve výrobě polotovarů a hotových výrobků. Technologie tváření se řadí mezi nejhospodárnější technologie z důvodu úspory materiálu a energie. Hlavními kritérii pro výběr polotovarů jsou velikost série, ekonomické hledisko a příslušné strojní vybavení. Proto se kladе velký důraz na pracovníky konstrukce a technologie, kteří se snaží najít ekonomicky nejvýhodnější variantu výroby. Technologie tváření se dále dělí na tváření plošné a tváření objemové.

U objemového tváření dochází ke změně tvaru v celém objemu, kdy deformace nastává ve směru všech tří os. Polotovarem pro objemové tváření je špalík, drát, šestihran (technologie válcování, protlačování, tažení drátů).

Pod pojmem plošné tváření se rozumí technologie zpracování plechu (ve formě tabulí nebo svitků), při které se dosahuje změny tvaru plošného i prostorového, bez podstatné změny tloušťky plechu. Řadí se sem technologie tažení, ohýbání, stříhání, zakružování atd.



Obr. 1 Ukázky součástí vyrobených plošným tvářením [22]

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ [3], [16], [34]

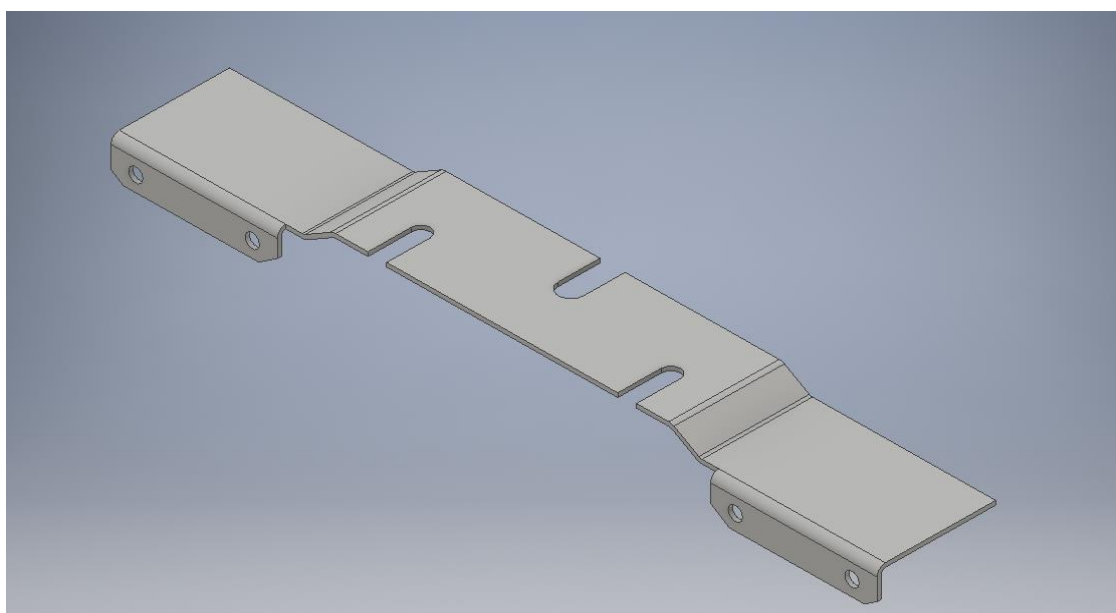
Řešenou součástí je ustavovací úhelník (obr. 2). Cílem této práce je navrhnout technologický postup výroby této součástky pro velikost série 200 000 ks·rok<sup>-1</sup>. Celkové rozměry jsou 184x28,5x13,3 mm a jmenovité rozměry s nejnižší tolerancí jsou  $\varnothing 3,5^{+0,1}$  mm. Materiál součásti je zadán EN10346-DX53D+Z100-M-B-C. Jedná se o nízkouhlíkovou hlubokotažnou ocel se zinkovým povlakem. Základní parametry materiálu jsou uvedeny v tab. 1. Písmeno M udává vzhled potlačený květ. Písmeno B udává zlepšenou jakost povrchu a písmeno C udává povrchovou úpravu chemickou pasivací.

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli DX53D [16]

Značení oceli dle EN 10 346	Dolní mez kluzu Re [MPa]	Mez pevnosti Rm [MPa]	Tažnost A [%]
DX53D+Z	140-260	270-380	30%

Tab. 2 Chemické složení oceli DX53D [34]

C	Si	Mn	S	P	Ti
Max 0,12 %	Max 0,50%	Max 0,60%	Max 0,10%	Max 0,045%	Max 0,30%



Obr. 2 Ustavovací úhelník

### 1.1 Variantní řešení [1], [17], [21], [23], [35], [36]

Pro dodržení přesnosti rozměrů součásti a dosažení co nejnižších nákladů na výrobu je nutno zvolit správnou technologii. Ustavovací úhelník lze vyrobit pomocí několika technologií.

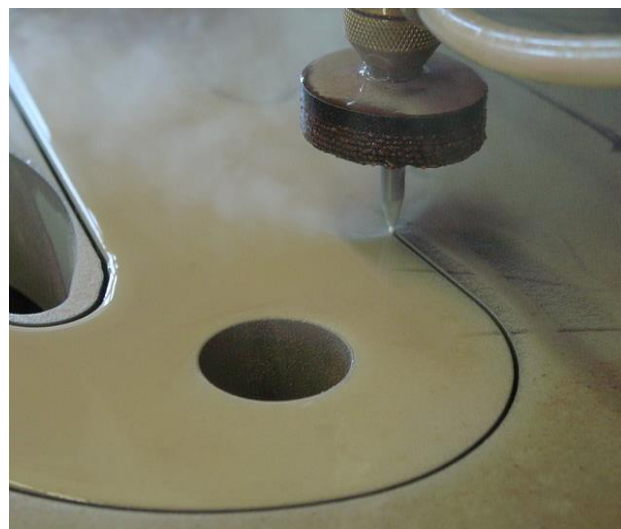
Nekonvenční technologie:

- Řezání vodním paprskem a následné ohýbání
- Řezání plazmou a následné ohýbání
- Řezání laserem a následné ohýbání

Konvenční technologie:

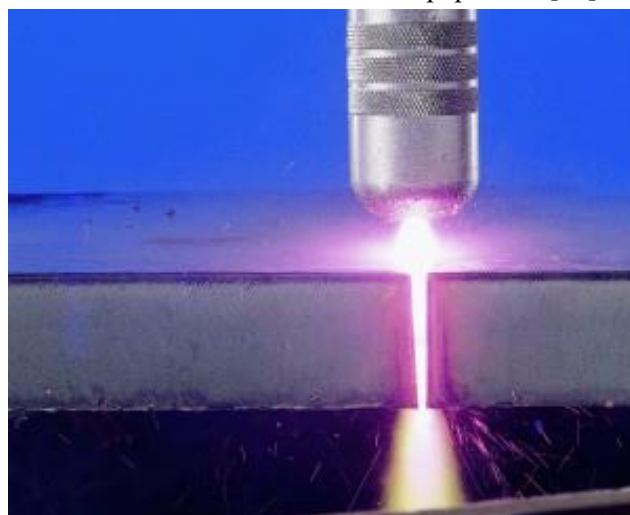
- Přesné stříhání a následné ohýbání
- Postupové stříhání v nástroji a následné ohýbání
- Stříhání a ohýbání ve sdruženém nástroji

- Řezání vodním paprskem - vodním paprskem je nazýván proud vody o vysokém tlaku a malém průměru. Principem této technologie je tryskání vody (obr. 3), která zde zastává funkci nosiče abrazivních částic, na polotovár. Vysoký tlak vody (až 400 MPa) zajišťuje vysokotlaké čerpadlo. Mezi výhody této technologie patří kvalitní řez bez otřepů a nedochází zde k tepelnému ovlivnění řezaného materiálu. Mezi nevýhody může být zařazen nevyhnutelný kontakt s vodou.



Obr. 3 Detail řezání vodním paprskem [29]

- Řezání plazmou - u procesu řezání plazmou je využito vodivého plynu (Argon, Dusík, Vodík). Mezi řezaný materiál a trysku je přivedeno elektrické napětí a následně je zde vytvořen elektrický oblouk. Z trysky začne odcházet ionizovaný plyn velmi vysokou rychlostí. Teplota plazmy zde může dosahovat až 30 000 °C. Mezi výhody této technologie patří především vysoká řezná rychlost. Mezi nevýhody jsou zařazeny hlučnost a vysoká pořizovací cena.



Obr. 4 Detail řezání plazmou [36]

- Řezání laserem - principem této technologie je zaostření paprsku do definovaného místa (ohniska), které je závislé na tloušťce materiálu. Při styku laserového paprsku a materiálu je materiál ohřát na vysokou teplotu a je následně roztaven. Při vyšších výkonech se materiál odpaří. Výhody této technologie jsou vysoká přesnost (až 0,1mm) a hladký řez. Mezi nevýhody jsou zařazeny vysoké investiční náklady a omezení tloušťky materiálu.



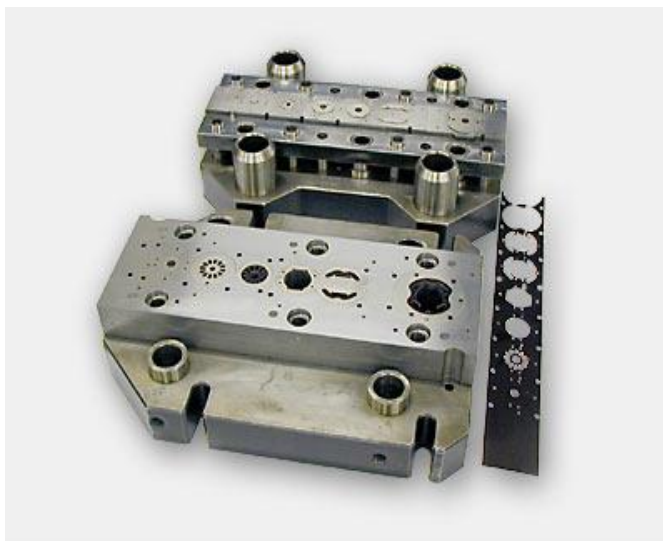
Obr. 5 Detail řezání laserem [17]

- Přesné stříhání s tlačnou hranou - je to metoda sdruženého stříhání na jeden zdvih, přičemž se zhotovují výstřižky s hladkou lesklou plochou a bez otřepů. Střížná plocha je kolmá na rovinu výstřižku a dosazuje přesnosti až IT6. Princip je sevření stříhaného materiálu pomocí střížníku a vyhazovače a následnému působení nátlčné hrany, díky níž je zde vytvořeno příznivé tlakové napětí. Výhody této technologie jsou vysoká přesnost a vysoká produktivita. Mezi nevýhody patří cena nástroje a nutnost specializovaného zařízení (trojčinného lisu).



Obr. 6 Rozdíl střížných ploch přesného stříhání (vlevo) a běžného stříhání (vpravo) [35]

- Postupové stříhání - stříh je zde realizován pomocí dvou proti sobě působících břitů (střížníku a střížnice). Pro dosažení nejlepší kvality stříhu je nutno dodržet správnou střížnou vůli. Přesnost výstřižků se pohybuje mezi IT14-IT9. Přesnosti IT14-IT12 dosazují nástroje bez vodících elementů. Nástroje se zvýšenou přesností dosazují IT12-IT9, pokud jsou v nástroji vodící elementy, hledáky a dorazy. Drsnost stříhaných ploch se pohybuje od  $Ra\ 6,3\ \mu m$  do  $Ra\ 3,2\ \mu m$ . Klíčovou roli zde hraje i vhodně zvolený nástřihový plán, který ovlivní celkovou cenu nástroje. Mezi výhody se řadí vysoká produktivita. Značnou nevýhodou je cena nástroje.

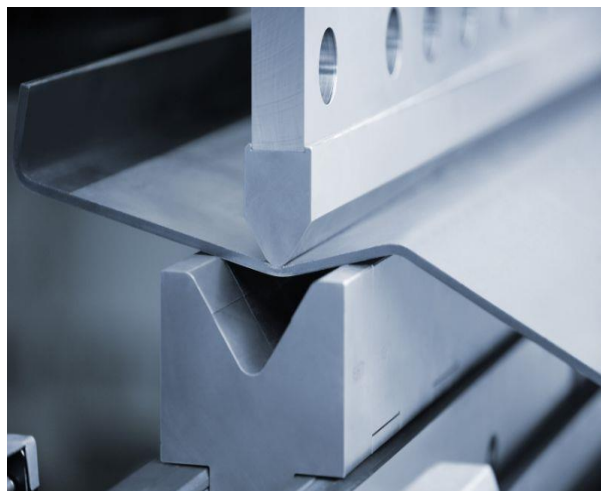


Obr. 7 Postupový střížný nástroj [23]

Jelikož předchozí operace jsou variantním řešením pouze pro první operaci. Bude nutno ustavovací úhelník ohnout do příslušného tvaru pomocí některé z následujících technologií.

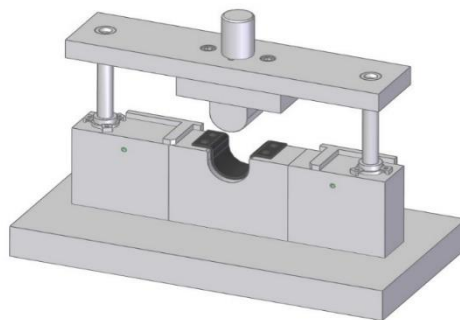


- Ohraňování - při ohraňování jsou součástky ohýbány do tvaru „U“ nebo do tvaru „V“. Pro ohýbání jsou použity jednoúčelové stroje, které jsou nazývány ohraňovací lisy. Stoly ohraňovacích lisů dosahují délek až několik metrů. Nástroj zde tvoří pouze razník a matrice. Razník je upnut na horní pohyblivé části stroje a matrice je upevněna na dolní. Mezi výhody se řadí ohýbání velkých součástí a nízká cena nástrojů. Nevýhodou zde může být použití pro menší výrobní série.



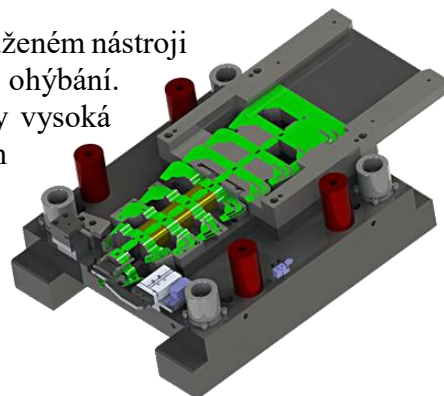
Obr. 8 Ukázka ohraňování plechu [18]

- Ohýbání v nástroji - při jednoduchém ohýbání do tvaru „U“ nebo „V“ jde o tváření rovinného polotovaru na výlisek s plochami různě vůči sobě orientovanými. Principem je založení polotovaru mezi dorazy a následně sjede horní část nástroje a ohne polotovar do příslušné podoby pomocí vytvoření zaoblených hran s daným poloměrem ohybu.



Obr. 9 Ukázka ohýbacího nástroje [12]

- Stříhání a ohýbání ve sdruženém nástroji - ve sdruženém nástroji probíhá více tvářecích operací např. stříhání a ohýbání. Mezi přednosti sdružených nástrojů jsou řazeny vysoká produktivita, zmenšení počtu potřebných stanovišť a snížení nákladů na výrobu.



Obr. 10 Ukázka sdruženého nástroje [30]

Po zhodnocení všech předešlých variant pro výrobu součástky ustavovací úhelník byla zvolena varianta výroby ve sdruženém postupovém nástroji.

Podle této volby se teoretická část práce bude nadále zabývat technologiemi stříhání a ohýbání.

## 2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ [1], [3], [5]

Stříhání je řazeno mezi technologie plošného tváření za studena, ale jedná se o atypickou technologii z důvodu nesplnění definice tváření. Důvodem proč je stříhání řazeno mezi tvářecí technologie, je kvůli používání tvářecích strojů při jeho realizaci. Při stříhání dochází k záměrnému porušení soudržnosti materiálu.

Stříhání je možno definovat jako postupné nebo současné oddělování části materiálu působením pomocí dvou proti sobě působících břitů podél čáry stříhu. Střížná čára může mít tvar přímky, uzavřených či otevřených křivek.

### 2.1 Proces stříhání [1], [5], [10]

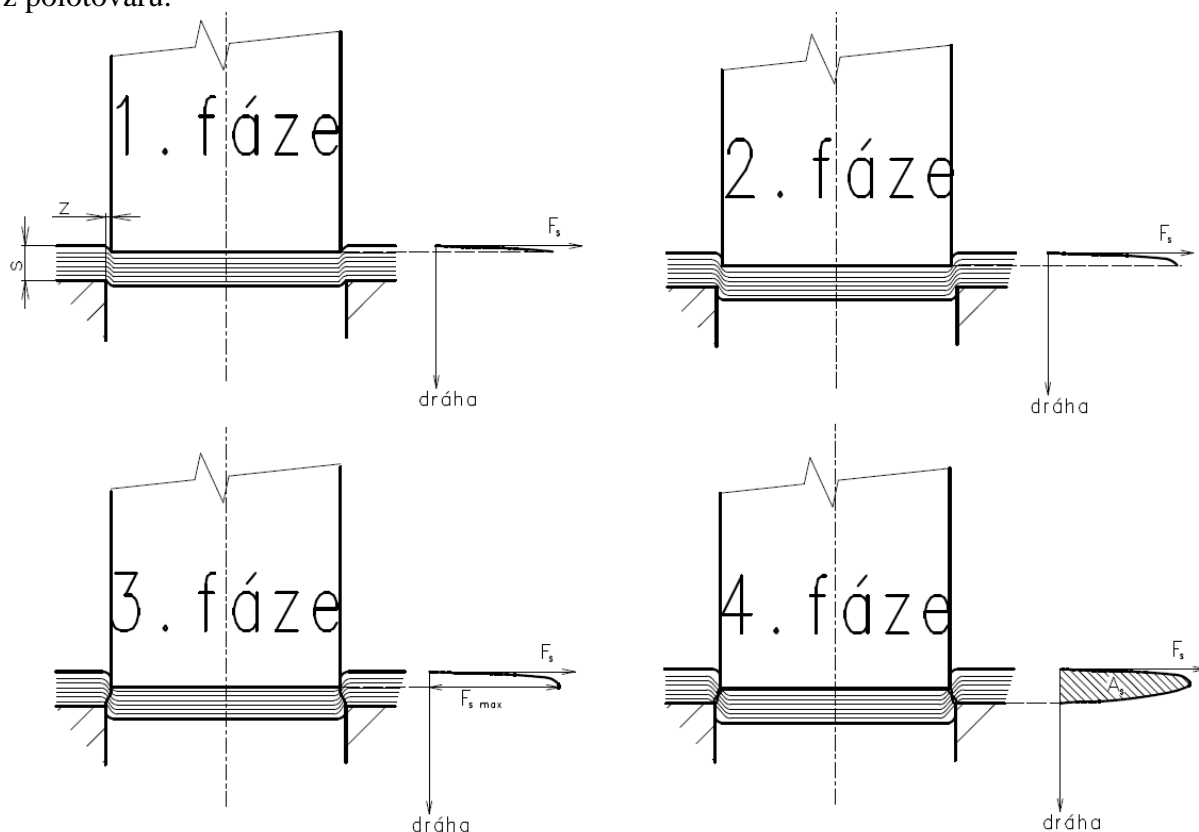
Průběh celého procesu je rozdělen do několika fází. Proces je započat dosednutím střížníku na stříhaný materiál a ukončen je oddělením stříhaného materiálu (obr. 11).

V první fázi dojde ke styku střížníku a stříhaného materiálu a v materiálu nastane pružný ohyb. Tento jev obvykle nastane po vniknutí střížníku do 5 až 8 % tloušťky materiálu v závislosti na mechanických vlastnostech polotovaru.

Ve druhé fázi působí střížník na materiál větším napětím, než je mez kluzu, při kterém dochází k oddělováním materiálu pomocí smykových napětí. Hloubka vniknutí střížníku se pohybuje mezi 10 až 25% tloušťky materiálu v závislosti na mechanických vlastnostech a velikosti střížné vůle.

Ve třetí fázi dochází k oddělení části materiálu odtrhnutím. V průběhu této fáze převažují tahová napětí, která způsobí rychlé šíření trhlin a následné oddělení materiálu. Rychlost šíření trhlin je ovlivněna mechanickými vlastnostmi materiálu a střížnou vůlí.

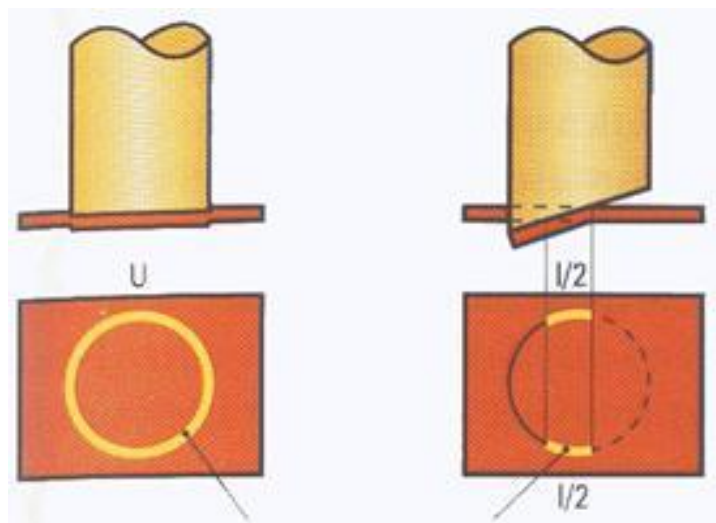
Poslední fáze nastává po oddělení materiálu. Stříhání je zakončeno vytlačení výstřížku z polotovaru.



Obr. 11 Jednotlivé fáze stříhání [1]

## 2.2 Střížná síla a práce [1], [4], [24]

Pro volbu správného tvářecího stroje je nutno spočítat velikost střížné síly (obr. 12). Velikost této síly se mění v průběhu pracovního zdvihu a je daná součinem střížného odporu, střížné plochy a součinitele otupení. Velikost této síly lze ovlivnit konstrukcí střížníků a střížnic. Mezi nejčastější úpravy patří výroba zkosení v závislosti na druhu operace. U děrování je střížník zkosen o  $1^\circ$  až  $5^\circ$  a střížnice je ponechána s rovným čelem. U vystřihování je tomu naopak, střížnice je zkosená a střížník je ponechán rovný, a to z důvodu, aby se výstřížek neohýbal. Další variantou jak snížit střížnou sílu je odstupňovat délky jednotlivých střížníků a střížné síly se při vhodném odstupňování nemusí sčítat. Nevýhodou odstupňování střížníků je nárůst pracovního zdvihu.



Obr. 12 Porovnání stříhu rovného střížníku (vlevo) a zkoseného střížníku (vpravo) [24]

Střížná síla  $F_S$  pro rovnoběžné nože je vyjádřena vztahem:

$$F_S = \tau_S \cdot S \cdot n = 0,8 \cdot R_m \cdot l \cdot s \cdot n, \quad (2.1)$$

kde:  $F_S$  – střížná síla [N]

$\tau_S$  – pevnost materiálu ve stříhu [MPa]

$S$  – střížná plocha [mm<sup>2</sup>]

$n$  – součinitel otupení (1,1 až 1,3) [-]

$R_m$  – mez pevnosti polotovaru [MPa]

$l$  – délka střížné křivky [mm]

$s$  – tloušťka polotovaru [mm]

Vypočet velikosti střížné práce dle vzorce:

$$A_S = \lambda \cdot F_S \cdot s_A, \quad (2.2)$$

kde:  $A_S$  – střížná práce [J]

$\lambda$  – součinitel plnosti diagramu (0,3 až 0,6 pro středně tvrdou ocel) [-]

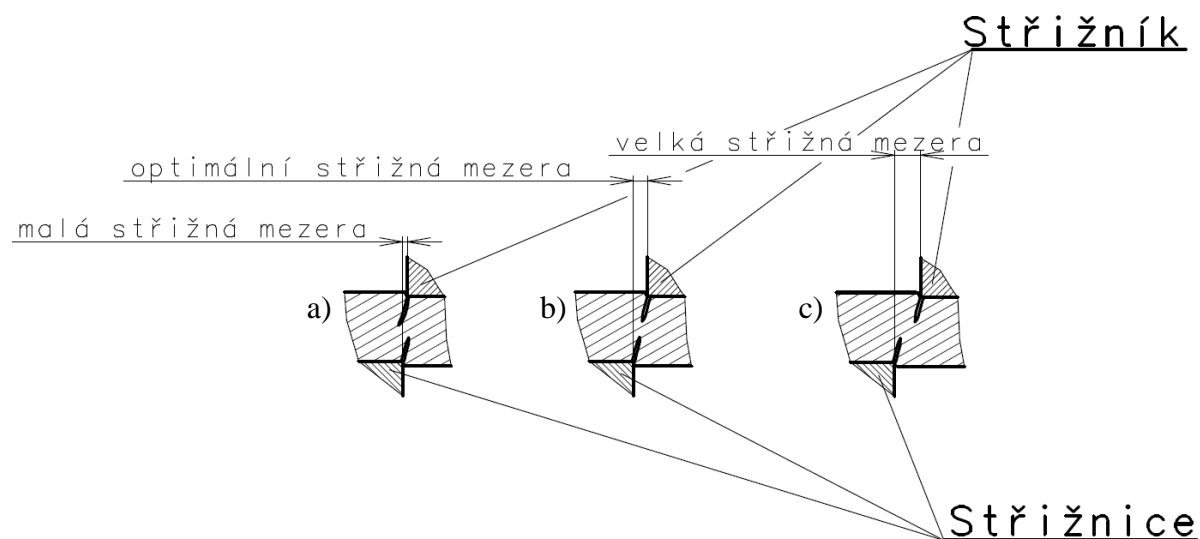
$s_A$  – dráha, při stříhání plechu  $s_A = s$  [mm]

## 2.3 Střížná vůle [1], [3], [4]

Střížnou vůli lze definovat jako součet střížných mezer z mezi protilehlými hranami po obou stranách. Správně zvolená střížná vůle (mezera) ovlivňuje kvalitu střížné hrany výstřížku (obr. 13b), přesnost střížné hrany výstřížku a trvanlivost střížných hran nástroje. Velikost střížné vůle ovlivňuje několik faktorů druh stříhaného materiálu, technologie, tloušťka stříhaného materiálu a materiál střížných hran.

Pokud je zvolena malá střížná vůle (obr. 13b) dochází ke zvýšení střížné síly a práce kvůli „dvojnásobnému“ stříhání (to snižuje kvalitu střížné hrany, ale snižuje ohyb a velikost otřepu v první fázi stříhu).

Pokud je zvolena velká střížná vůle (obr. 13c) dochází k částečnému vtahování materiálu do střížné mezery a to způsobí nárůst střížné síly. Velká střížná vůle způsobí vytvoření velkých ostřin a nekvalitní střížnou hranu.



Obr. 13 Ukázky střížných mezer [1]

Existuje několik možností, jak stanovit správnou střížnou vůli např. výpočtem ze vzorce, odečtení vůle z diagramu v normě ČSN 22 6015, volba podle procenta tloušťky polotovaru.

Výpočet střížné vůle v pro plech pro  $s \leq 3\text{mm}$ :

$$v = 2 \cdot 0,32 \cdot c_s \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s}, \quad (2.3)$$

kde:  $v$  – střížná vůle [mm]

$\tau_s$  – pevnost materiálu ve stříhu [MPa]

$c_s$  – součinitel závislý na stupni stříhu (0,005 až 0,025) [-]

$s$  – tloušťka polotovaru [mm]

Výpočet střížné vůle v pro plech pro  $s > 3\text{mm}$ :

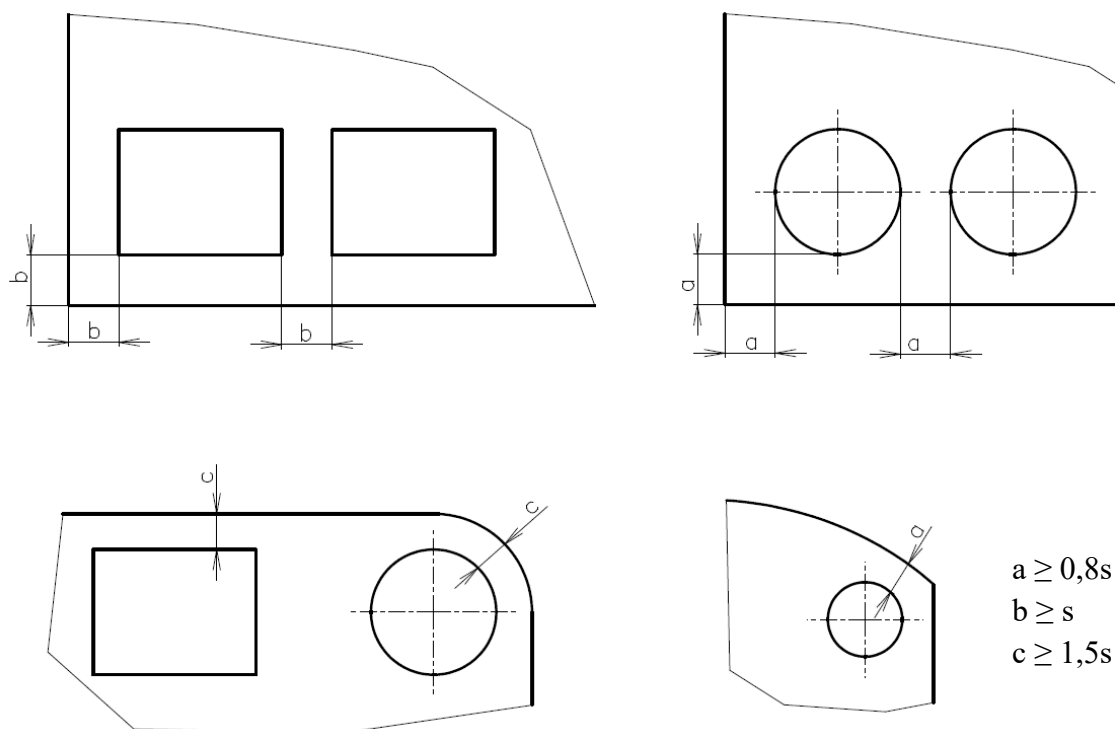
$$v = 2 \cdot 0,32 \cdot (1,5 \cdot c_s \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_s}, \quad (2.4)$$



## 2.4 Technologičnost stříhaných součástí [1], [5], [10]

Při konstruování výstřižků by měly být zohledněny následující zásady:

- Pro konvenční stříhání platí, že přesnost výstřižků by se měla pohybovat IT14 až IT12. V případech, kdy je možno použít nástroj s vodícími elementy, dorazy a hledáky může být dosažena přesnost až IT9. Při použití přesného stříhání se přesnost může vyšplhat až IT6. Je nutno dodat, že každé zvýšení přesnosti představuje další náklady.
- Pokud je možno nepředepisovat nižší tolerance než  $Ra\ 3,2\ \mu m$  (drsnot odtrhnuté plochy).
- Je třeba dodržet minimální vzdálenosti otvorů mezi sebou a od krajů. (obr. 14)
- Je nutno dodržet minimální možné otvory. Kruhový otvor musí být větší než 1 mm u tvrdé oceli a u měkké oceli musí být větší jako 1,5 mm. S rostoucí tloušťkou tyto hodnoty rostou.
- Nepředepisovat tolerance kolmosti a rovinnosti.
- Pro děrování volit podle možnosti kruhové otvory. Pro vystřihování nejsou vhodné z ekonomického hlediska (menší % využití pásu).
- Podle možnosti by rohy výstřižku měly být sražené nebo zaoblené.
- Materiál by neměl přesáhnout pevnost 1200 MPa.



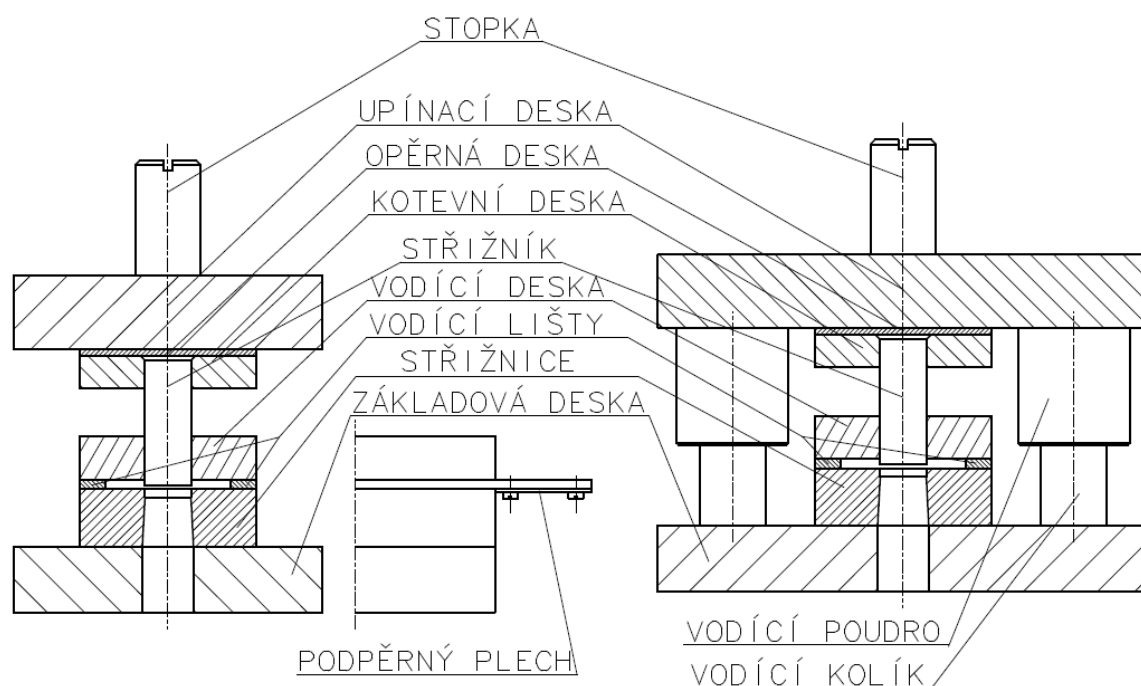
Obr. 14 Technologičnost stříhaných součástí [1]

## 2.6 Střižné nástroje [2], [6], [9]

Střižné nástroje podléhají normě ČSN 22 6001. Střižné nástroje se dělí na jednoduchá stříhadla a postupová stříhadla. Jako hlavní činné části jsou zde střižníky a střižnice.

U jednoduchých stříhadel je založen polotovar mezi dorazy, zakládací kostky nebo jiné elementy, které zaručují přesné ustavení. Poté je proveden stříh.

U postupových nástrojů je principem vedení polotovaru pomocí vodících lišt, který je stříhán v jednotlivých krocích a posunován o krok mezi jednotlivými zdvihy. Posunování polotovaru může být provedeno ručně nebo automatizovanou cestou pomocí odvíjecího a rovnacího zařízení. Jednotlivé kroky jsou hlídány pomocí dorazů a pro zpřesnění polohy jsou zde často použity hledáky. Jelikož je převážná většina dílů normalizována, tím je možno zakoupit normalizované komponenty u prodejců a snížit tím celkovou cenu nástroje.



Obr. 15 Schéma střižných nástrojů bez vedení (vlevo), s vedením (vpravo) [9]

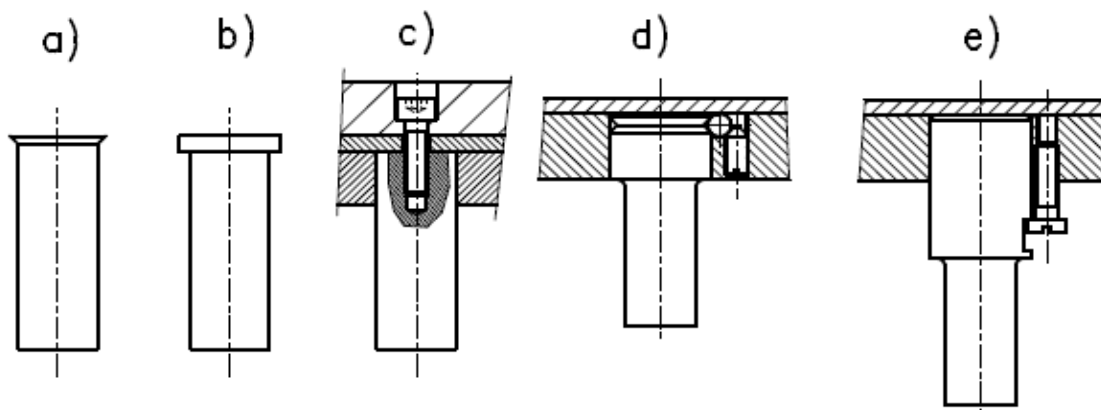
Stopka slouží k upnutí nástroje do horní části lisu. Její rozměry podléhají normě a volba konkrétní stopky se odvíjí podle volby lisu. Stopka je umístěna do těžiště působících sil, aby zde nevznikly klopné momenty. Dělí se na kuželové a válcové. Materiál stopek je ocel 11 600.

Upínací deska zajišťuje spojení a upevnění nástroje na beranu lisu pomocí stopky. Dále je na ni upnuta kotevní deska pomocí šroubů a kolíků.

Opěrná deska slouží jako podložka pro střižníky v horní části nástroje. V případě, že nástroj je opatřen vložkovou střižnicí volí se i do dolní části nástroje a slouží jako podložka pro jednotlivé střižnice. U opěrných desek je vhodné volit materiály s vyšší tvrdostí, které se dají tepelně zpracovat.

Kotevní deska slouží k vedení a upevnění jednotlivých střižníků. Může být konstruována z konstrukční oceli, ale i z nástrojových uhlíkových ocelí pokud pracují s vyšším výkonem. Je pevně spojena pomocí šroubů a kolíků s upínací deskou.

Střížník je první ze dvou nejdůležitějších částí střížného nástroje. Může být upevněn v nástroji pomocí několika variant (obr. 16). Je zhotoven z nástrojové oceli (19 312, 19 436, 19 437, 19 573,...) a následně tepelně zpracován. Menší střížníky jsou upevněny v kotevní desce pomocí vyžihání a roznýtování upínací části střížníku (obr. 16a). Dalším typem upínání je pomocí osazení, které brání vypadnutí z kotevní desky (obr. 16b). Další variantou upnutí střížníku je pomocí šroubu, který vede skrz opěrnou desku až do upínací desky (obr. 16c). Pokud se střížníky často mění, tak jsou zde možnosti rychloupnutí pomocí šroubu a kuličky (obr. 16d) nebo šroubem s upravenou hlavou (obr. 16e).

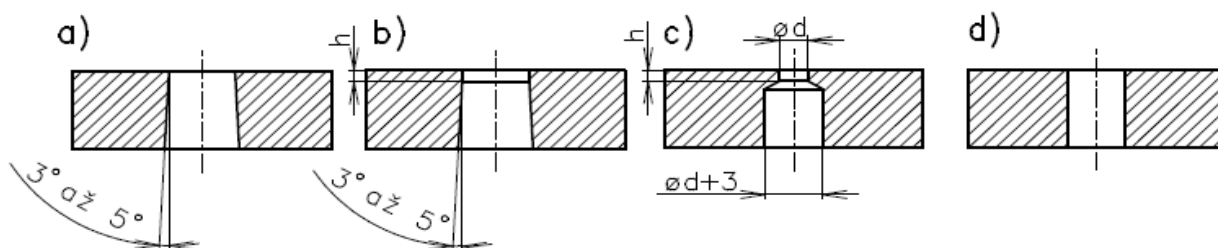


Obr. 16 Způsoby upnutí střížníků [6]

Vodící deska je určena pro vedení střížníků při pohybu směrem dolů a při zpětném pohybu zastává funkci stírače. V případě, že by deska dosahovala velkých rozměrů, je vhodné ji vyrobit z konstrukční oceli a vložkovat. Tím dojde ke snížení ceny nástroje.

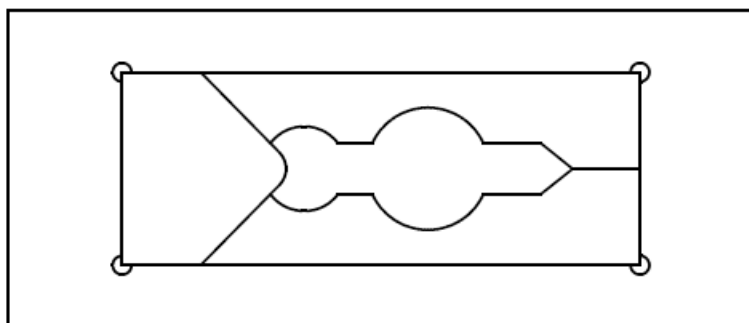
Vodící lišty zajišťují vedení pásu plechu či svitku v nástroji. Jsou spojeny se střížnicí pomocí šroubů a kolíků. V úvodní části jsou opatřeny díry pro šrouby, které drží podpěrný plech.

Střížnice je další ze dvou základních komponent, ve kterých probíhá stříh. Mezi dokončovací operací při výrobě střížnice patří broušení. Díky velkému namáhání je vyráběna z nástrojových ocelí (19 312, 19 436, 19 437, 19 573,...) a tepelně zpracována kalením a popouštěním na určitou tvrdost. Od toho se taky odvíjí její cena. Mohou být vyráběny v několika tvarových a konstrukčních provedeních. Tvarové střížnice se dále dělí na střížnice kónické, s fazetkou, pro malé otvory, válcové. Pro vystřihování menších tvarů se střední přesností je vhodné použít střížnici s kónickým tvarem (obr. 17a). Úhel  $3^\circ$  až  $5^\circ$  je zde, aby hotový výstřížek nebo odpad propadly střížnicí bez uvíznutí. Při větších sériích je vhodné použít provedení s fazetkou (obr. 17b), a to z důvodu otupení a následného přebroušení střížnice. Pokud jsou stříhány malé otvory, je použita varianta s předvrtaným otvorem (obr. 17c). Poslední variantou je stříhání s vyhazovačem, kde je bývá použit válcový tvar (obr. 17d).



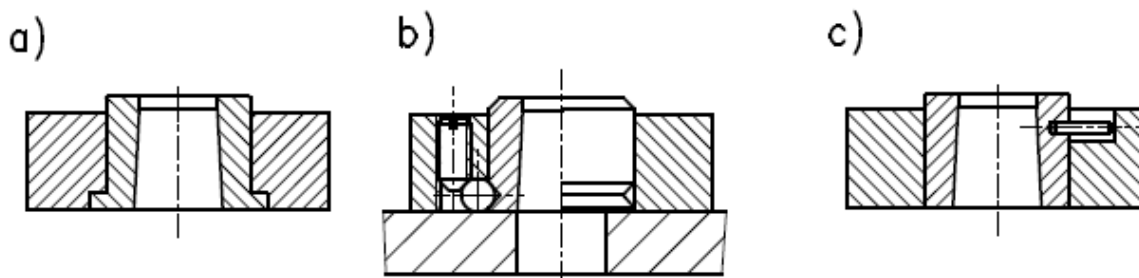
Obr. 17 Tvarové provedení střížnic [6]

Dále mohou být děleny na celistvé, skládané a vložkované. Pouze střížnice menších rozměrů se vyrábí jako celistvé, aby nedocházelo ke zbytečnému navyšování ceny za nástroj. Pokud se vystřihují složité tvary, které by se těžko vyráběly z jednoho kusu. Zde bývá použito skládaných střížnic (obr. 18).



Obr. 18 Skládaná střížnice [9]

V případě, že střížnice dosahuje velkých rozměrů například u postupových nástrojů, je vhodné ji vyrobit vložkovanou (obr. 19). Dojde tak k velké úspoře ceny, protože stačí, když vložky budou zhotoveny z nástrojové oceli a deska, ve které jsou uchyceny je obvykle zhotovena pouze z konstrukční oceli. Vložky mají většinou o 3 až 5 mm větší výšku, než samotná deska z důvodu následného přebrušování.



Obr. 19 Ukázky variant vložkování střížnic [6]

Základová deska slouží k ustavení a upnutí dolní části nástroje. Bývá spojena se střížnicí pomocí šroubů a kolíků. Materiály základových desek jsou oceli třídy 11.

Dalšími komponenty jsou hledáky, které slouží k zpřesnění stříhání. Zahledání děr se dělí na přímé a nepřímé. Přímé zahledání znamená, že hledák zajede do některé z hotových otvorů, která byla stříhána v předchozích krocích. Nepřímé zahledání se použije tehdy, pokud na hotovém výrobku není žádný vhodný otvor pro zahledání. V tomto případě se musí na nástřihový plán přidat uměle dodělaný otvor, na který se bude zahledávat.

Dorazy jsou komponenty, které zajišťují přesnou polohu pásu plechu v nástroji. Dorazy podléhají normě ČSN 22 6060. Dělí se na pevné, zpětné a načínací. Načínací dorazy jsou použity pro dodržení kroku v úvodních částech stříhání, kde ještě není možno použít jiný typ dorazu. Načínací dorazy bývají zasunuty ve vodící liště. Pevné dorazy jsou použity u stříhání tenkých plechů a jsou zalisované na střížnici. U větších tloušťek plechu bývá použito zpětných dorazů.

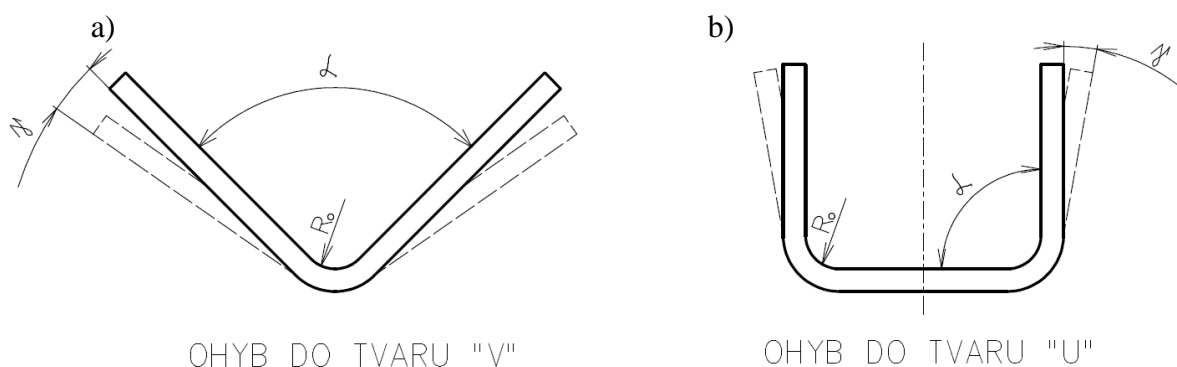
### 3 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ [1], [5], [8]

Ohýbání je proces, při kterém je polotovár zatížen ohybovým momentem. Díky tomuto působení zde vznikne trvalé přetvoření na výlisku v podobě zaoblené hrany nebo plochy. Ohýbání většinou probíhá za studena a dále se dělí podle několika kritérií:

- Rozdělení z teoretického hlediska
  - ohýbání pomocí zatěžovací síly
  - ohýbání pomocí momentu
- Rozdělení dle způsobu ohýbání
  - ohýbání v nástrojích (ohýbadlech)
  - ohýbání na strojích (ohýbačkách)
  - ohýbání na ohraňovacích lisech
  - ohýbání pomocí válců

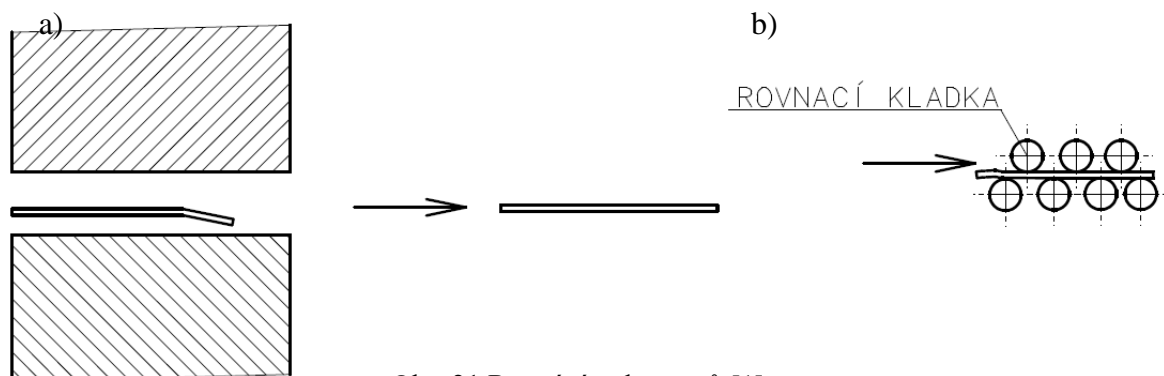
Mezi základní operace technologie ohýbání jsou zařazeny jednoduché ohýbání, rovnání, zakružování, lemování, kontinuální ohýbání,...

Pod pojmem jednoduché ohýbání je zahrnuto ohýbání polotovaru do tvaru „U“ (obr. 20a) nebo „V“ (obr. 20b).



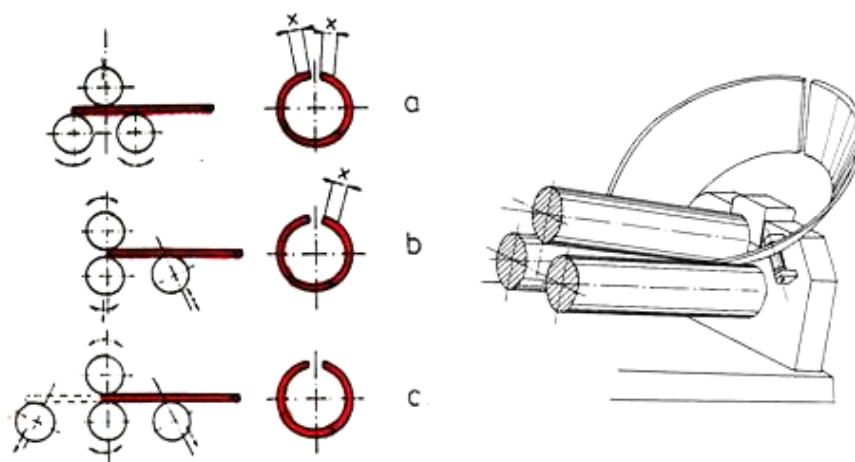
Obr. 20 Ohýbání do tvaru „V“ a „U“ [24]

Rovnění je operace, kdy se polotovar pomocí rovnadla (obr. 21a) nebo rovnacích válců (obr. 21b) zvětšuje. Operace se většinou používá jako dodatek po stříhání, aby byla zajištěna požadovaná rovnost výstřižku.



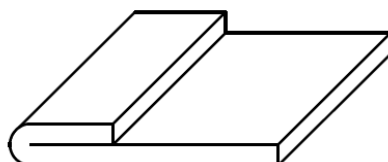
Obr. 21 Rovnění polotovarů [1]

Zakružování je proces, při kterém je polotovár tvářen, buď do válcového, nebo kuželového tvaru (obr. 22 vpravo). Existuje celá řada zakružovaček na (obr. 22) jsou uvedeny 3 varianty. Na (obr. 22a) je schematicky znázorněna tříválcová symetrická a je zde patrná i její nevýhoda, a to nezakružený začátek a konec polotovaru. Pod ní na (obr. 22b) je schéma tříválcové nesymetrické zakružovačky, která je schopna částečně eliminovat její nedostatky. Na posledním schéma je znázorněna čtyřválcové provedení, s jehož pomocí lze zakružit začátky i konce polotovaru.



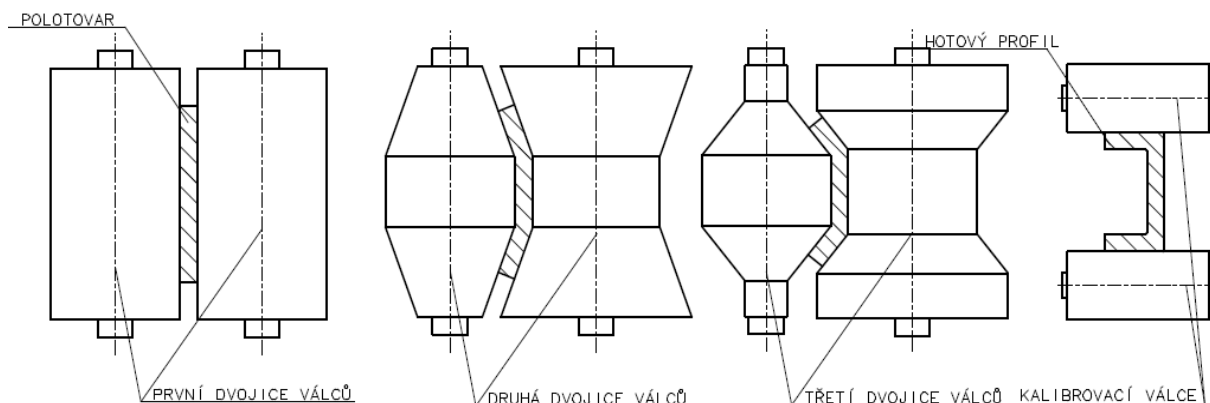
Obr. 22 Schémata zakružování [24]

Lemování je proces, při kterém je ohnut okraj polotovaru za účelem vytvoření ozdobného vzhledu, odstranění ostrých hran, zvýšení tuhosti a taky metoda spojení dvou polotovarů. Na (obr. 23) je znázorněn jednoduchý lem.



Obr. 23 Jednoduchý lem [1]

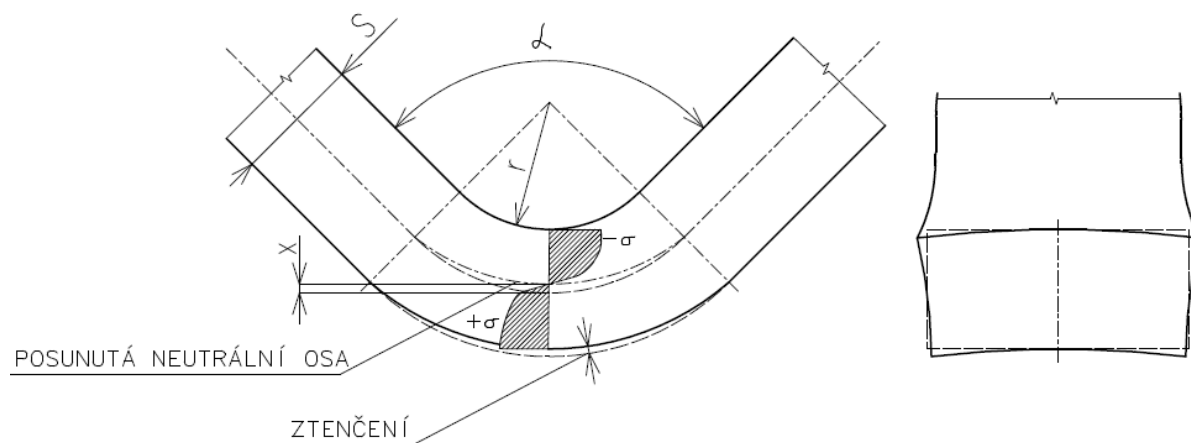
U kontinuálního ohýbání jde většinou o postupné ohýbání dlouhého polotovaru pomocí rotujících tvarových válců (obr. 24). Pomocí této metody jsou zhotoveny především tenkostěnné profily. Mezi velké přednosti je řazeno použití libovolné délky polotovaru.



Obr. 24 Kontinuální ohýbání [1]

### 3.1 Proces ohýbání [1], [5], [8]

Při procesu ohýbání se materiál začíná pružně-plasticky deformovat. Na vnitřní straně ohýbaného polotovaru vzniká tlakové napětí, které má tendenci materiál v podélném směru stlačovat a v příčném směru roztahovat. Na vnější straně polotovaru vznikají tahová napětí, která mají snahu materiál v podélném směru natahovat a v příčném směru zužovat. Mezi těmito vrstvami se nachází vrstva s nulovým napětím, a to znamená, že se délka této vrstvy nemění v průběhu ohýbání. Vrstva se označuje pojmem „neutrální vrstva“ (obr. 25) a hraje důležitou roli při výpočtu délky polotovaru a ve výpočtech velikosti přetvoření v místě daného ohybu.



Obr. 25 Průběh napětí při ohýbání [1]

Do jaké míry je materiál schopen se pružně plasticky deformovat, bez toho aniž by došlo k porušení polotovaru, lze pomocí určení minimálního poloměru ohybu. K porušení materiálu nastává ve chvíli, když napětí přesáhne mez pevnosti v tahu. Důležitým parametrem je zde směr vláken v polotovaru. Nejmenších poloměrů ohybů se dosahuje při ohýbání po směru vláken.

Pro minimální poloměr ohybu platí následující vztah:

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_p} - 1 \right) = c_p \cdot s, \quad (3.1)$$

kde:  $R_{min}$  – minimální poloměr ohybu [mm]

$\varepsilon_p$  – mezní prodloužení [-]

$c_p$  – součinitel minimálního poloměru ohybu (pro ocel 0,5 až 0,6) [-]

Opačným případem je maximální poloměr ohybu. Lze ho definovat jako první stálý poloměr, který se po odlehčení nevrátí do původního stavu. Nastává při překročení meze kluzu.

Pro maximální poloměr ohybu platí následující vztah:

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right), \quad (3.2)$$

kde:  $R_{max}$  – maximální poloměr ohybu [mm]

$E$  – modul pružnosti v tahu [MPa]

$R_e$  – mez kluzu [MPa]

### 3.2 Výpočet délky polotovaru [1], [8], [10]

Pro získání výchozích rozměrů při ohýbání, je nutno součást rozvinout. Je nutno vyjít z délky neutrální vrstvy, a to z důvodu, že neutrální vrstva má konstantní rozměr. Součástku je nutno rozdělit na rovné úseky a místa ohybu. U rovných úseků se nic nepočítá, hodnoty je pouze nutno odečíst z výkresu. V místech ohybu dochází k posunu neutrální vrstvy směrem ke vnitřnímu poloměru zaoblení.

Poloha posunuté neutrální lze spočítat následujícím vztahem:

$$\rho = R_0 + x \cdot s, \quad (3.3)$$

kde:  $\rho$  – poloměr posunuté neutrální vrstvy [mm]

$R_0$  – poloměr zaoblení na vnitřní straně [mm]

$x$  – součinitel posunutí neutrální osy [-]

Tab. 3 Určení součinitele neutrální osy [10]

Poměrný poloměr ohybu $\frac{R_0}{s}$	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4
Součinitel posunutí neutrální osy	0,32	0,35	0,38	0,42	0,455	0,47	0,475

Po vypočítání poloměru posunuté neutrální vrstvy lze určit délku ohybu podle následujícího vztahu:

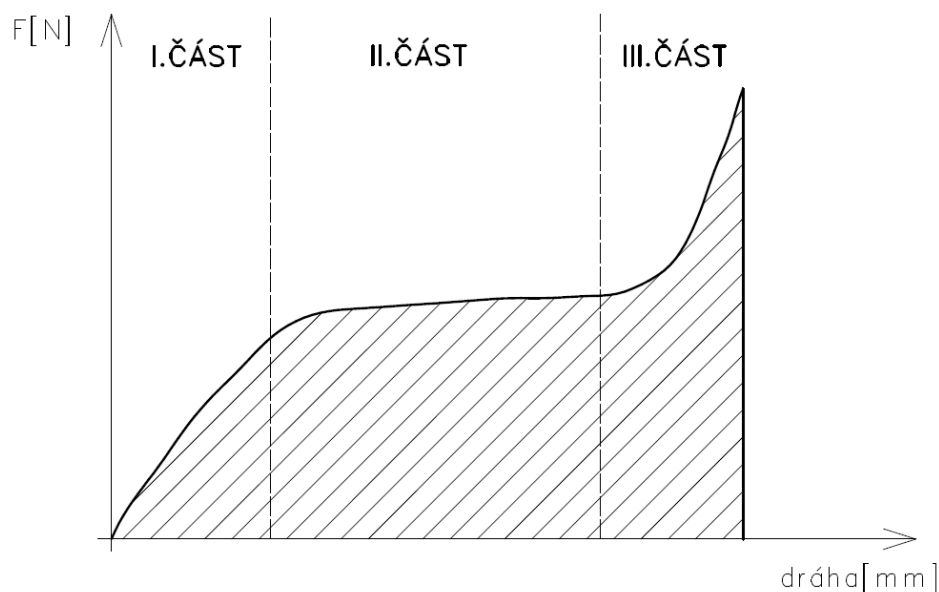
$$L = \frac{\pi \rho \varphi}{180}, \quad (3.4)$$

kde:  $L$  – délka neutrální vrstvy [mm]

$\varphi$  – úhel ohybu [°]

### 3.3 Ohybová síla a práce ohybu [4], [5], [8]

Průběh ohybové síly v závislosti na dráze je znázorněn na (obr. 26). V první části grafu je patrný značný nárůst síly, a to do doby, dokud není překročena mez kluzu. Jakmile je mez kluzu překročena, tak se síla ocitne v druhé části grafu, kde probíhá její pomalý nárůst, až do poslední kalibrovací části.



Obr. 26 Závislost ohybové síly na dráze [8]



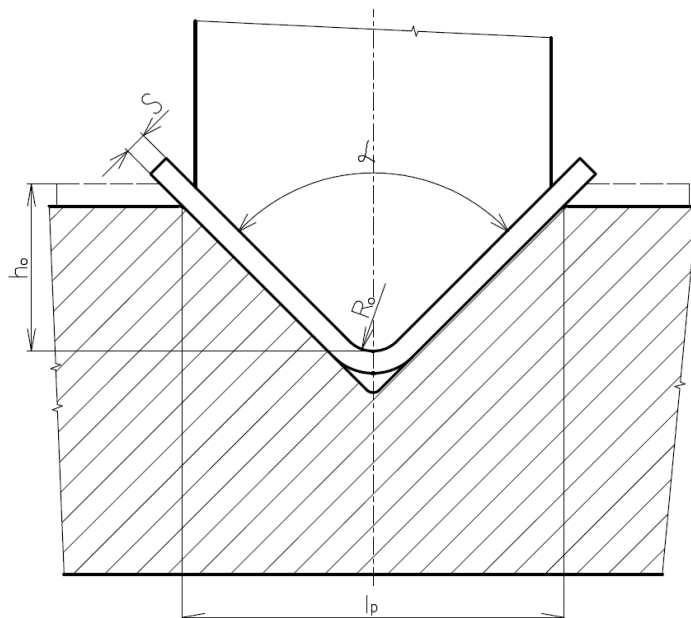
Výpočet ohybové síly u tvaru „V“ se spočítá pomocí následujícího vzorce:

$$F_O = \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{2 \cdot R_O} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad (3.5)$$

kde:  $F_O$  – ohybová síla [N]

$b$  – šířka polotovaru [mm]

$\alpha$  – úhel vyhnutí [°]



Obr. 27 Znáznornění hodnot pro „V“ ohyb [3]

Síla vypočtená pomocí vzorce (3.5) se obvykle vynásobí číslem z intervalu  $< 2; 2,5 >$  a to z důvodu kalibrace výlisku.

Ohybová práce se spočítá pomocí následujícího vzorce:

$$A_O = F_O \cdot h_O \cdot \delta, \quad (3.6)$$

kde:  $A_O$  – ohybová práce [J]

$h_O$  – dráha ohybníku [m]

$\delta$  – součinitel zaplnění (nabývá hodnot  $< 0,5; 0,65 >$ ) [-]

### 3.4 Odpružení [1], [3], [10]

Jelikož v průběhu ohýbání vznikají pružně-plastické deformace a nedochází k překročení meze pevnosti, nastává při odlehčení daného výlisku nežádoucí jev s názvem odpružení. Je zapříčiněno vymizením pružné deformace při odlehčovací cestě a materiál má tendenci se vrátit do původního stavu o určitý úhel  $\gamma$  (obr. 20). Velikost odpružení ovlivňují materiál výlisku, poloměr ohybu a tloušťka materiálu.

Odpružení pro „V“ ohyb se spočítá pomocí následujícího vzorce:

$$\tan \gamma = 0,375 \cdot \frac{l_p}{(1-x) \cdot s} \cdot \frac{Re}{E}, \quad (3.7)$$

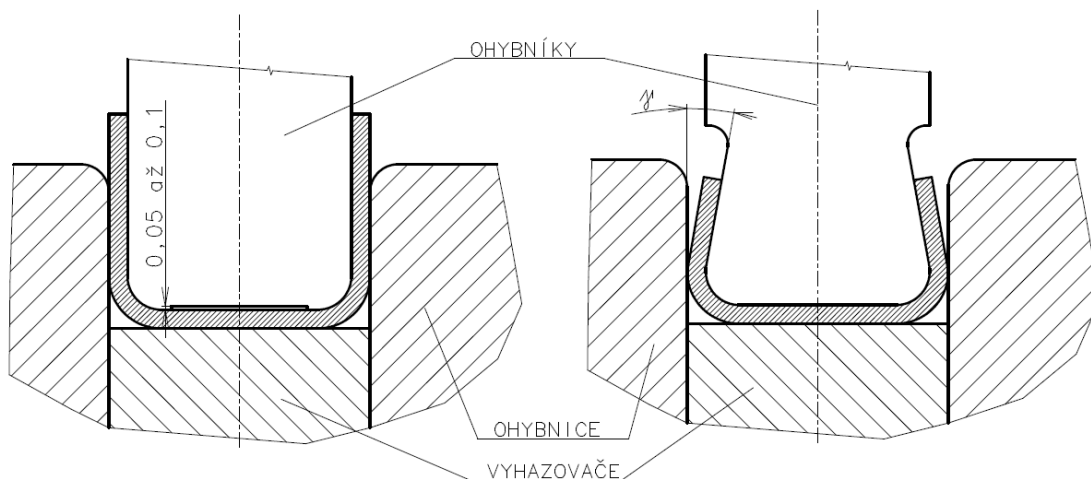
kde:  $\gamma$  – odpružení [°]

$l_p$  – vzdálenost podpěr ohybnice [mm]

Odpružení pro „U“ ohyb se spočítá pomocí následujícího vzorce:

$$\tan \gamma = 0,75 \cdot \frac{l_p}{(1-x) \cdot s} \cdot \frac{Re}{E}, \quad (3.8)$$

Důležitým krokem je eliminace tohoto jevu. Mezi nejčastější kroky se řadí úprava tvářecího nástroje (obr. 28) nebo zhotovení prolisů na součástce pro zvýšení tuhosti.

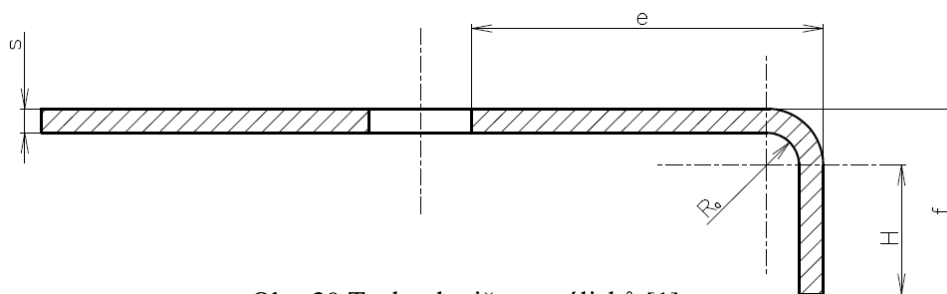


Obr. 28 Úpravy ohýbníků pro eliminaci odlehčení [1]

### 3.5 Technologičnost ohýbaných součástí [1], [5], [10]

Při konstruování výlisků by měly být zohledněny následující zásady:

- Je nutno brát ohled na směr vláken ve výlisku.
- Minimální délka ramena výlisku je pro  $R_o < 1 \text{ mm}$   $f \geq 3 \cdot s + R_o$  a pro  $R_o \geq 1 \text{ mm}$   $f \geq (2,5 \text{ až } 3) \cdot s$ .
- Konstrukční otvory musí být v dostatečné vzdálenosti od místa ohybu, jinak hrozí jejich deformace. Musí platit podmínka  $e > R_o + 2 \cdot s$ .
- Je nutno počítat se ztenčením stěny v místě ohybu asi o 20%.
- Pokud to situace dovoluje, volit malé poloměry ohybu, ale větší než  $R_{\min}$ . Důvodem je, že při větších poloměrech vzniká větší odpružení.
- Výlisky s velkým poloměrem je vhodné vyztužit pomocí prolisů.



Obr. 29 Technologičnost výlisků [1]

### 3.6 Ohýbací nástroje [1], [2], [6], [9]

U technologie ohýbání se nástroje dělí do dvou skupin. První skupinou jsou nástroje, jejichž spodní část je upnuta ke stolu lisu a vrchní pohyblivá část je upnuta do beranu lisu. Pro ohýbání jsou použity excentrické a hydraulické lisy. Podle volby lisu a jeho parametrů je zkonstruován nástroj. U excentrického lisu je horní část upnuta pomocí stopky stejně jako u stříhadel. U hydraulických lisů je nástroj upnut pomocí drážek a upínek. Druhou skupinou jsou nástroje pro ohraňovací lisy. Tyto nástroje jsou vhodné pro ohýbání složitějších tvarů s velkými počty ohybů (obr. 30).



Obr. 30 Výlisky zhotovené ohraňováním [22]

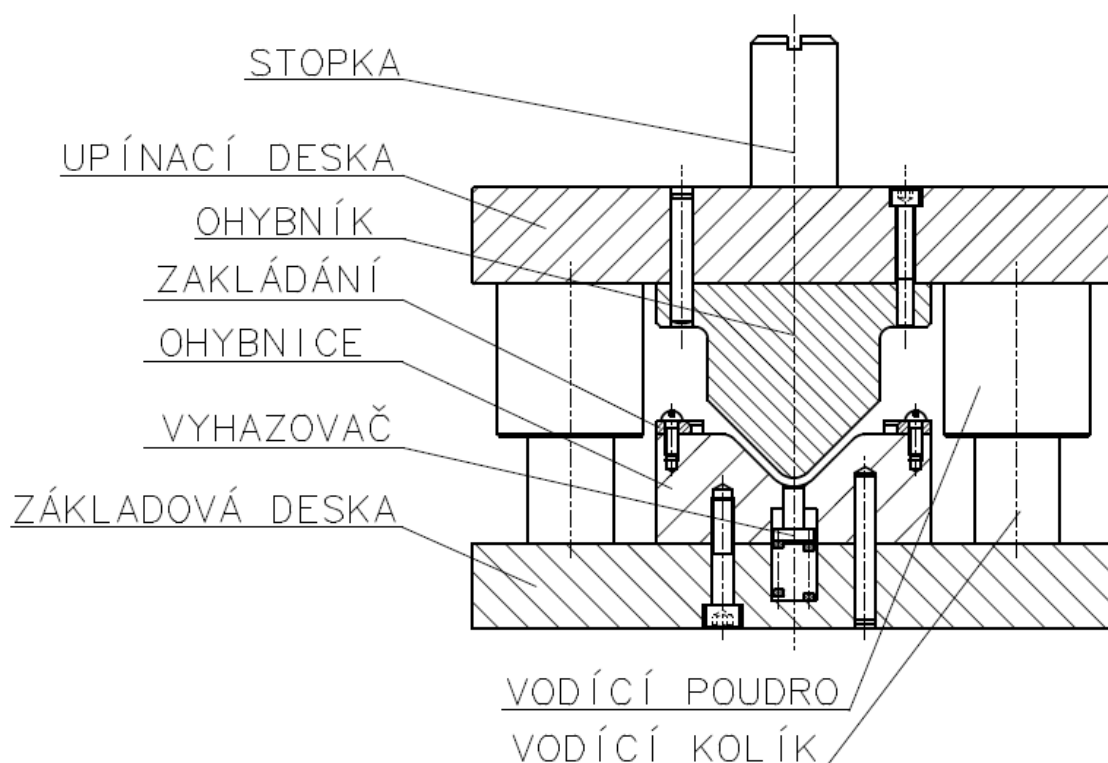
Stavba ohýbadel je obdobná jako stříhadel. Mezi společné komponenty se řadí stopka, upínací deska, vodící komponenty a základová deska. Mezi další komponenty ohýbadel patří ohybník, ohybnice, vyhazovač a zakládání.

Ohybník je základní komponentou, která se aktivně podílí na ohýbání výlisku. Konstruuje se z nástrojových ocelí (19 191, 19 436,...) a tepelně zpracován kalením a popuštěním na tvrdost 60 HRC. V nástroji bez kotevni a opěrné desky je upnut pomocí šroubů a kolíků na upínací desku. Může být konstruován jako celistvý nebo s výměnnými vložkami, kde je tělo ohybníku zhotoveno z konstrukční oceli a vložky jsou zhotoveny z výše uvedených materiálů (obr. 30).

Ohybnice je další komponentou, která se aktivně podílí na ohýbání výlisku. Materiálem je zde nástrojová ocel (19 191, 19 436,...) tepelně zpracován kalením a popuštěním na tvrdost 60 HRC. V nástroji je upnuta pomocí šroubů a kolíků na základovou desku. Opět zde může být varianta, kde je konstruována jako celistvá nebo s výměnnými vložkami (obr. 31).

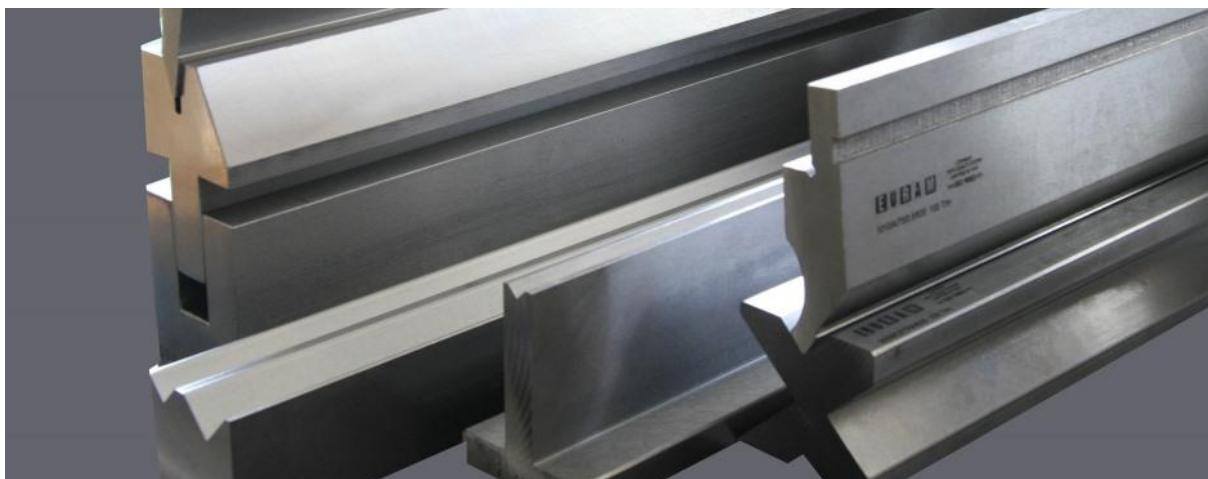
Vyhazovač je součástí, jejíž primární funkcí je nadzvednout výlisek po vyhnutí do příslušného tvaru. Umožní tak obsluhu lisu lepší a rychlejší vyjmutí součástky z nástroje. Jeho sekundární funkcí může být přidržení polotovaru na ohybníku, aby při ohýbání nedošlo k posunu do strany v případech, kdy se ohýbá součást s nerovnoměrnými rameny. Materiálem vyhazovačů bývají nástrojové oceli (19 191, 19 312, 19 421,...) a následně tepelně zpracované kalením a popuštěním na 58 HRC. Větší vyhazovače jsou zpravidla zhotoveny z konstrukčních uhlíkových ocelí (12 050, 12 060) a tepelně zpracovány. Z hlediska konstrukce může být konstruován jako odpružený čep (obr. 32), přídavné zařízení do lisu nebo lze zakoupit i od výrobců nástrojových normálů.

Zakládání je komponenta, která slouží k jednoznačnému ustavení polotovaru v nástroji. Materiálem bývají zpravidla konstrukční uhlíkové oceli (12 050, 12 060) a tepelně zpracovány na 54 až 58 HRC.



Obr. 31 Schéma ohýbadla pro excentrický lis s ohýbáním do tvaru „V“ [24]

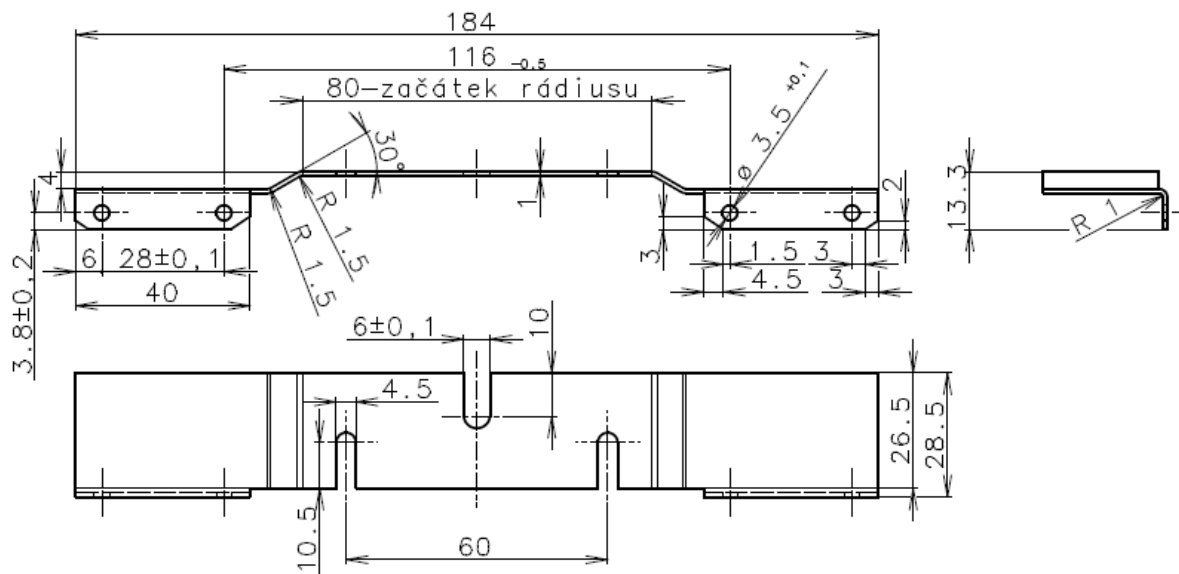
Nástroje pro ohraňování mají jednodušší stavbu, protože se skládají jen ze dvou tvarových čelistí, z nichž jedna je vždy pevná a druhá je pohyblivá (obr. 32). Jsou upnuty pomocí drážek na speciálních ohraňovacích lisech.



Obr. 32 Tvarové čelisti ohraňovacích nástrojů [13]

## 4 NÁVRH ŘEŠENÍ

Řešenou součástí je tedy zmiňovaný ustavovací úhelník (obr. 33). Ve výše uvedené kapitole variantní řešení byla zvolena technologie výroby pomocí sdruženého postupového nástroje. Materiál součásti byl stanoven EN10346-DX53D+Z100-M-B-C, jehož vlastnosti jsou uvedeny v rozboru součásti. Vzhledem velikosti série 200 000 ks·rok<sup>-1</sup> bude výchozím polotovarem svitek o dané šířce, která bude vypočtena v následujících bodech.



Obr. 33 Ustavovací úhelník s kótami

Z hlediska technologie stříhání je nutno zkontrolovat technologičnost konstrukce dané součásti. Na součásti nesmí být nepřepsány tolerance nižší než IT9. Součást tuto podmínku splňuje, protože nejnížší tolerance je zde u kruhových otvorů s  $\varnothing 3,5^{+0,1}$  mm. Další parametry, které musí být zkontrolovány, jsou minimální vzdálenosti otvorů mezi sebou a od kraje. Pro otvory musí platit  $a \geq 0,8s$ . Otvory splnily i tuto podmínku ( $2,05 \text{ mm} \geq 0,8 \text{ mm}$  a současně  $24,05 \text{ mm} \geq 0,8 \text{ mm}$ ). Dále je nutno ověřit podmínku minimálního otvoru, kde výše zmíněná ocel spadá pod měkké až středně tvrdé oceli. Proto musí platit  $\varnothing d \geq 1,5 \text{ mm}$ , kde je nejmenším  $\varnothing 3,5 \text{ mm}$  ( $\varnothing 3,5 \text{ mm} \geq 1,5 \text{ mm}$ ).

Součást je nutno zkontrolovat i z hlediska technologičnosti konstrukce týkající se ohýbání. Jelikož nástrihový plán bude podrobně popsán až v kapitole 4.2, budou stanoveny podmínky minimálních poloměrů ohybu dle vzorce 3.2 pro směr kolmý na směr vláken. Je zde zvolena hodnota  $c_p=0,5$ , což je běžná hodnota pro ocel.

Minimální poloměr ohybu:

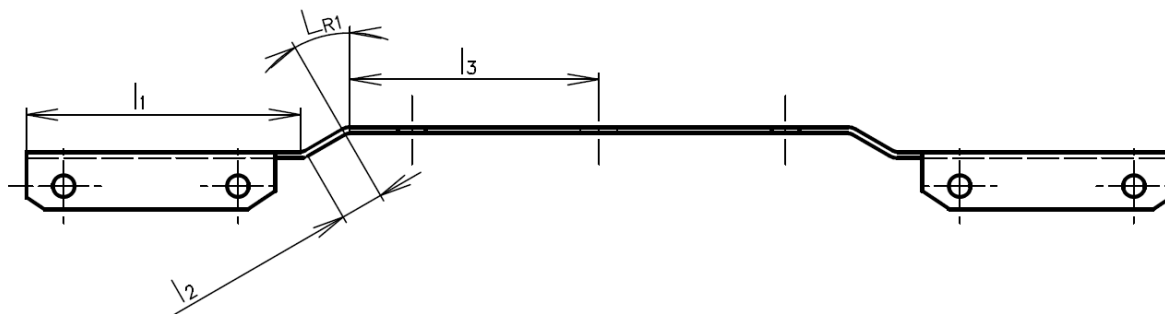
$$R_{min} = 0,5 \cdot 1 = 0,5 \text{ mm}$$

Poloměry ohybu splňují podmínku  $R \geq 0,5 \text{ mm}$  ( $1,5 \text{ mm} \geq 0,5 \text{ mm}$  a  $1 \text{ mm} \geq 0,5 \text{ mm}$ ). Vzhledem k malým poloměrům zaoblení zde nebude nutné počítat maximální poloměry ohybu. Další podmínkou je dostatečná vzdálenost otvorů od místa ohybu, kde musí platit  $e > R_0 + 2 \cdot s$ . Zde bude nutno zkontrolovat vzdálenost  $\varnothing 3,5 \text{ mm}$  od místa ohybu ( $3,75 \text{ mm} > 3 \text{ mm}$ ). Poslední podmínkou, která musí být dodržena, je minimální délka ramena. Platí vztah  $f \geq (2,5 \text{ až } 3) \cdot s$ . Pro ověření je zde zvolena hodnota 3 ( $9,3 \text{ mm} \geq 3 \text{ mm}$ ).

Součást splňuje všechny podmínky z hlediska technologičnosti konstrukce.

## 4.1 Výpočet délky polotovaru

Pro výpočet délky polotovaru je nutno rozlišit u součásti na rovné úseky a místa ohybu. Na součásti se nachází několik ohybů. Pro určení délky původního polotovaru bude nutno rozvinout součást pomocí kombinace vzorců 3.3 a 3.4.



Obr. 34 Vyznačení jednotlivých ploch pro rozvin v první ose

Poloměr neutrální vrstvy pro  $R_0 = 1,5$  mm:

Pro určení neutrální vrstvy je nutno dopočítat koeficient  $x$  dle tab. 3

$$\frac{R_0}{s} = \frac{1,5}{1} = 1,5$$

Pro hodnotu 1,5 není v tabulce uveden koeficient, proto je ho nutno dopočítat pomocí aritmetického průměru dvou nejbližších hodnot.

$$x_1 = \frac{0,42 + 0,455}{2} = 0,4375 \approx 0,438$$

$$\rho_1 = R_0 + x_1 \cdot s$$

$$\rho_1 = 1,5 + 0,438 \cdot 1 = 1,9375 \text{ mm} \approx 1,94 \text{ mm}$$

Po vypočtení poloměru neutrální vrstvy je na řadě výpočet délky neutrální vrstvy pomocí vzorce 3.4.

$$L_{R1} = \frac{\pi \rho_1 \varphi_1}{180}$$

$$L_{R1} = \frac{3,14 \cdot 1,94 \cdot 30}{180} = 1,015 \approx 1,02 \text{ mm}$$

Nyní je nutno sečíst jednotlivé délky ploch a tím bude vypočten rozměr výchozího polotovaru, ale jen v jedné ose.

$$L_1 = 2 \cdot \sum_{i=1}^3 l_i + 4 \cdot L_{R1} = 2 \cdot (44 + 6,93 + 40) + 4 \cdot 1,02 = 185,94 \approx 185,9 \text{ mm}$$

Poloměr neutrální vrstvy pro  $R_0 = 1$  mm:

Výpočet koeficientu  $x_2$  dle tab. 3

$$\frac{R_0}{s} = \frac{1}{1} = 1$$

Dle hodnoty v tab. 3  $x_2 = 0,42$

$$\rho_2 = R_0 + x_2 \cdot s$$

$$\rho_2 = 1 + 0,42 \cdot 1 = 1,42 \text{ mm}$$

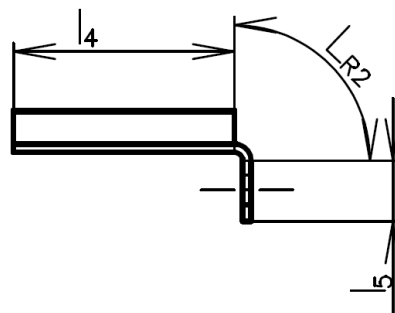
Výpočet délky oblouku  $L_{R2}$ :

$$L_{R2} = \frac{\pi \rho_2 \varphi_2}{180}$$

$$L_{R2} = \frac{3,14 \cdot 1,42 \cdot 90}{180} = 2,229 \approx 2,23 \text{ mm}$$

Výpočet výchozí délky polotovaru  $L_2$  v druhé ose:

$$L_2 = l_4 + l_5 + L_{R2} = 26,5 + 7,3 + 2,23 = 36,03 \approx 36 \text{ mm}$$

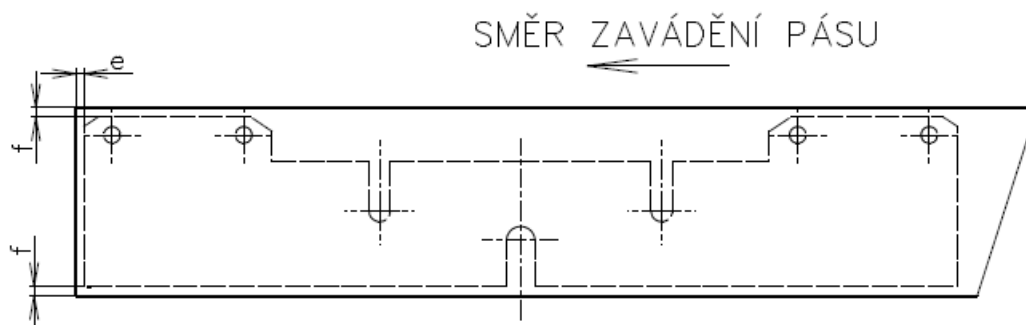


Obr. 35 Vyznačení ploch pro rozvin v druhé ose

## 4.2 Volba nástřihového plánu

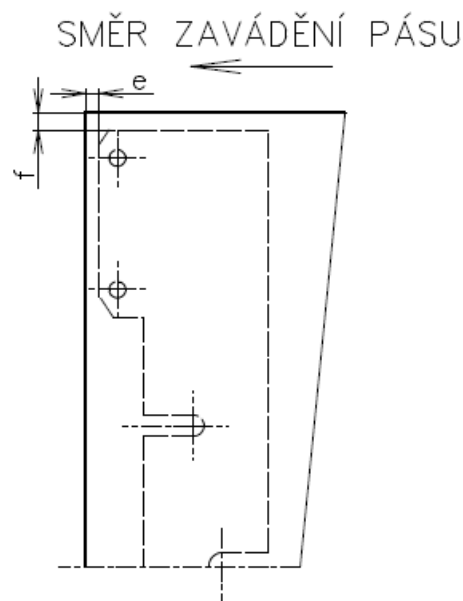
Při postupu výroby je nutno zohlednit tvar součásti. Jelikož tvar součástky má ostré rohy, nabízejí se pouze dvě varianty výroby (příčný a podélný směr). Jiná orientace na pásu by zmenšila procentuální využití svitku.

První variantou je následující orientace na pásu svitku (obr. 36). Toto řešení je velmi nevhodné z hlediska ceny a tvaru celého nástroje.



Obr. 36 Varianta 1

Druhou a zároveň poslední variantou je využití symetrie součásti (obr. 37). Při vhodném rozmístění střížníků, ohybníků a pružin, zde nebude nutné počítat polohu stopky ve dvou osách, ale pouze v jedné. Další výhodou zde bude nižší cena nástroje, než u první varianty, protože se budou daleko lépe volit rozměry a následně polotovary desek. Proto je zvolena tato varianta.



Obr. 37 Varianta 2

Velikost můstku je zvolena dle směrnic pro stanovení šířky odpadu. Pro výše spočítané rozměry je hodnota velikosti můstku  $e = 3 \text{ mm}$  a velikost postranního odpadu  $f = 3,7 \text{ mm}$ .

Pro velikost kroku platí:

$$K = L_2 + e, \quad (4.1)$$

kde: K – velikost kroku [mm]

$$K = 36 + 3 = 39 \text{ mm}$$

Pro stanovení šířky pásu svitku platí:

$$\check{S} = L_1 + 2 \cdot f, \quad (4.2)$$

kde:  $\check{S}$  – šířka pásu svitku [mm]

$$\check{S} = 185,9 + 2 \cdot 3,7 = 193,3 \text{ mm}$$

Nyní je nutno stanovit jednotlivé kroky. Pro lepší pochopení nástřihového plánu (obr. 38) je zde popis každého kroku.

V prvním kroku bude pás svitku zastřiháván pomocí krokových střížníků na vypočtenou šířku 185,9 mm. Dále bude zhotovena drážka s rozměrem  $6 \pm 0,1 \text{ mm}$  pomocí tvarového střížníku s přesazením 1 mm. Pro lepší vystředění pásu zde bude zhotoven otvor pro zahledání.

V druhém kroku se pomocí hledáku ukotveného v kotevní desce zahledá a následně se pomocí dvou tvarových střížníků zhotoví drážky se šířkou 4,5 mm. Jejich délka bude opět přesazena o 1 mm, a to z důvodu eliminace možnosti vzniku ostřiny na ostré hraně.

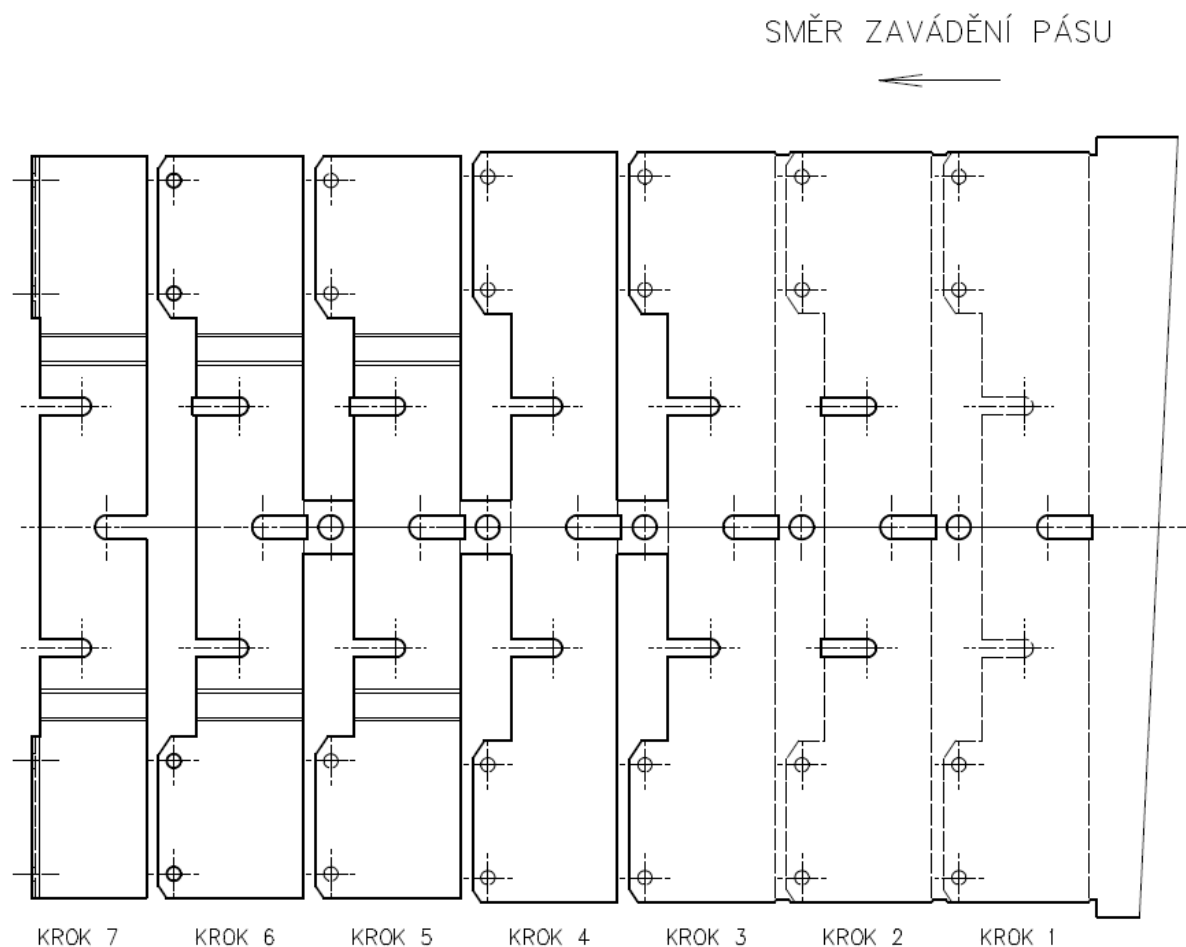
Ve třetím kroku se pomocí tvarových střižníků zhotoví téměř celý přední tvar a je zde ponechán pouze drobný můstek s otvorem pro hledák.

Ve čtvrtém kroku se pouze pro lepší posun pásu zahledává.

V pátém kroku je opět provedeno zahledání a zhotoví se zde přesazení součástky.

V šestém kroku jsou zhotoveny kruhové otvory. Vzhledem k tolerancím součástky mohly být tyto otvory zhotoveny i v některých předešlých krocích, ale pro zaručenou přesnost jsou zhotoveny až po přesazení do příslušného tvaru.

V posledním kroku je součást ohnuta do konečného tvaru a následně ostříhnuta pomocí tvarového ostříhovače. Součást je posunuta pomocí součásti z předchozího kroku na transfer, kde skončí v předem připravené nádobě.



Obr. 38 Nástřihový plán



### 4.3 Výpočty vztažené na střížnou část

V tab. 1 jsou uvedeny všechny potřebné údaje pro stanovení střížné síly dle vzorce 2.1, střížné vůle dle vzorce 2.3 a střížné práce dle 2.2. Pro výše uvedený materiál je  $R_m = 380 \text{ MPa}$  a tloušťka polotovaru je  $s = 1 \text{ mm}$ . Součinitel otupení volím  $n = 1,2$  a součinitel závislý na stupni stříhu volím  $c = 0,012$ .

Střížná síla pro první krok:

$$F_{S1} = \tau_s \cdot S \cdot n = 0,8 \cdot 380 \cdot (\pi \cdot 6 + 2 \cdot 11 + 6 + \pi \cdot 3 + 2 \cdot 4,2 + 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 0,71 + 2 \cdot 35) \cdot 1 \cdot 1,2 = 48547,58 \text{ N}$$

Střížná síla pro druhý krok:

$$F_{S2} = \tau_s \cdot S \cdot n = 0,8 \cdot 380 \cdot [(\pi \cdot 2,25 + 11,5 + 11,5 + 4,5) \cdot 2] \cdot 1 \cdot 1,2 = 25218,62 \text{ N}$$

Střížná síla pro třetí krok:

$$F_{S3} = \tau_s \cdot S \cdot n = 0,8 \cdot 380 \cdot [(12,5 + 21 + 20,7 + 6,5 + 5,41 + 32,5 + 3,61 + 86,2) \cdot 2] \cdot 1 \cdot 1,2 = 137471,23 \text{ N}$$

Střížná síla pro šestý krok:

$$F_{S4} = \tau_s \cdot S \cdot n = 0,8 \cdot 380 \cdot [(\pi \cdot 3,5) \cdot 4] \cdot 1 \cdot 1,2 = 16036,61 \text{ N}$$

Střížná síla pro poslední krok:

$$F_{S5} = \tau_s \cdot S \cdot n = 0,8 \cdot 380 \cdot [(14,33 + 4 \cdot 0,29 + 2 \cdot 4,17)] \cdot 1 \cdot 1,2 = 8693,18 \text{ N}$$

Celková střížná síla:

$$F_{SC} = F_{S1} + F_{S2} + F_{S3} + F_{S4} + F_{S5} = 48547,58 + 25218,62 + 137471,23 + 16036,61 + 8693,18 = 235967,22 \text{ N}$$

Od střížné síly se odvíjí stírací síla. V praxi se volí mezi 8 % až 12 %. Volím 12 %.

Výpočet stírací síly:

$$F_{ST} = 0,12 \cdot F_{SC} = 0,12 \cdot 235967,22 = 28316,07 \text{ N} \quad (4.3)$$

Pro stírání v nástroji volím plynové pružiny RV 1000-016A od výrobce Special springs [28] jež jsou uvedeny v příloze. Nyní je nutno stanovit jejich počet pomocí následujícího vztahu.

$$N_{pruž} = \frac{F_{ST}}{F_{pruž}} = \frac{28316,07}{9200} = 3,07 \approx 4 \text{ pružiny} \quad (4.4)$$

Výpočet střížné vůle:

$$v = 2 \cdot 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,32 \cdot 0,012 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 380} = 0,134 \approx 0,13 \text{ mm}$$

Pro výpočet střížné práce volím součinitel plnosti diagramu  $\lambda = 0,55$  dle vzorce 2.2:

$$A_s = \lambda \cdot F_{SC} \cdot s_A = 0,55 \cdot 235967,22 \cdot 0,001 = 129,78 \text{ J}$$

Jelikož nástroj bude mít dvě opěrné desky, jednu mezi kotevní a upínací deskou a druhou mezi vložkovanou střížnicí a základovou deskou, nebudou zde bezpečnostní výpočty na otlačení.

Na součásti se nachází otvory s malými rozměry, a proto bude nutno vypočítat jejich kritickou délku. Bude zde použit vztah pro výpočet vedených střížníků, protože budou vedeny pomocí přidržovacích desek.

Výpočet kvadratického momentu pro kruhový střížník:

$$I_K = \frac{\pi \cdot d^4}{64}, \quad (4.5)$$

kde:  $I_K$  – kvadratický moment kruhové střížníku [ $\text{mm}^4$ ]

Výpočet kvadratického momentu pro střížník obdélníkového tvaru:

$$I_O = \frac{b_I \cdot h_I^3}{12}, \quad (4.6)$$

kde:  $I_O$  – kvadratický moment obdélníkového střížníku [ $\text{mm}^4$ ]

$b_I$  – větší rozměr střížníku [ $\text{mm}$ ]

$h_I$  – menší rozměr střížníku [ $\text{mm}$ ]

Výpočet kritické délky vedeného střížníku.

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{\mu \cdot F_S}}, \quad (4.7)$$

kde:  $l_{krit}$  – kritická délka střížníku [ $\text{mm}$ ]

$\mu$  – koeficient bezpečnosti (1,5 až 2) [-]

Nejmenší otvorem kruhového tvaru je zde  $\varnothing 3,5^{+0,1}$  mm. Bude zde provedena kontrola kritické délky pomocí vztahů 4.5 a 4.7. Pro výpočty volím koeficient bezpečnosti  $\mu = 1,5$ .

$$I_K = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 3,5^4}{64} = 7,36 \text{ mm}^4$$

$$l_{krit1} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{\mu \cdot F_S}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 7,36}{1,5 \cdot 0,8 \cdot 380 \cdot 1 \cdot \pi \cdot 3,5}} = 110,28 \text{ mm}$$

Dalším kontrolovaným rozměrem bude nejuzší místo mezi součástkami na nástřihovém plánu. Zde budou použity výpočetní vztahy 4.6 a 4.7.

$$I_O = \frac{b_I \cdot h_I^3}{12} = \frac{32,5 \cdot 3^3}{12} = 24,375 \text{ mm}^4$$

$$l_{krit2} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{\mu \cdot F_S}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 24,375}{1,5 \cdot 0,8 \cdot 380 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 32,5}} = 82,53 \text{ mm}$$

Nyní je nutno stavit rozměry součástí, které se účastní procesu stříhání. Je zde nutno podotknout, že je stříhání nutno rozdělit do dvou skupin (vystřihování a děrování). Jelikož na nástřihovém plánu není žádná část zhotovená pomocí vystřihování, nebude zde pro něj uveden výpočetní vztah. Pro výpočet funkčních rozměrů je nutno dodat, že každý rozměr na vyráběné součásti má svou toleranci, protože se na něj vztahuje norma ČSN ISO 2768-1. Pro výpočet rozměrů a při výrobě celého nástroje bude použit stupeň přesnosti m. Nepředepsané tolerance stupně m jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4 Hodnoty nepředepsaných tolerancí pro stupeň m [11]

Jmenovitý rozměr [mm]	Velikost mezní úchytky [mm]
0,5 až 3	± 0,1 mm
3 až 6	± 0,1 mm
6 až 30	± 0,2 mm
30 až 120	± 0,3 mm
120 až 400	± 0,5 mm

Pro vzorový výpočet jsem zvolil rozměr drážky  $6 \pm 0,1$  mm. Jedná se o rozměr, který se děrováním zmenšuje. Podle toho vyberu daný vztah z normy ČSN 22 6015 [31]. Toleranci  $\pm 0,1$  mm odpovídá přípustná míra opotřebení  $P=0,16$  mm, výrobní tolerance střížníku  $TA=0,035$  mm a výrobní tolerance střížnice  $TE=0,054$  mm.

Pro rozměr střížníku byl zvolen následující vzorec:

$$RAD = (JR + \frac{P}{2})_{-TA} = (6 + \frac{0,16}{2})_{-0,035} = 6,08_{-0,035} \text{ mm}, \quad (4.8)$$

kde:  $RAD$ – rozměr střížníku [mm]

$P$ – přípustná míra opotřebení [mm]

$TA$ – výrobní tolerance střížníku [mm]

Pro rozměr střížnice byl zvolen následující vzorec:

$$RED = (JR + \frac{P}{2} + v)^{+TE} = (6 + \frac{0,16}{2} + 0,13)^{+0,054} = 6,21^{+0,054} \text{ mm}, \quad (4.9)$$

kde:  $RED$ – rozměr střížnice [mm]

#### 4.4 Výpočty vztažené na ohybovou část

V této části budou spočítány ohybová síla a práce. Výpočet odpružení zde uveden nebude, protože se budou zohledňovat síly na kalibraci součásti. V případě, že by po odzkoušení nástroje nastalo odpružení, mimo toleranční pole nepředepsaných mezních úchylek úhlových rozměrů bude odpružení vykompenzováno pomocí úprav na nástroji.

Výpočet ohybové síly pro jeden „V“ ohyb u přesazení:

$$F_{O1} = \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{2 \cdot R_O} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{26 \cdot 1^2 \cdot 260}{2 \cdot 1,5} \cdot \tan\left(\frac{30}{2}\right) = 603,78 \text{ N}$$

Výpočet ohybové síly pro celé přesazení:

$$F_{OP1} = 4 \cdot F_{O1} = 4 \cdot 603,78 = 2415,12 \text{ N}$$

Výpočet ohybové síly pro kolmý ohyb:

$$F_{O2} = \frac{b \cdot s^2 \cdot Re}{2 \cdot R_O} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{40 \cdot 1^2 \cdot 260}{2 \cdot 1} \cdot \tan\left(\frac{90}{2}\right) = 5200 \text{ N}$$

Výpočet ohybové síly pro dva kolmé ohyby:

$$F_{OP2} = 2 \cdot F_{O2} = 2 \cdot 5200 = 10400 \text{ N}$$

Výpočet celkové ohybové síly:

$$F'_{OC} = F_{OP1} + F_{OP2} = 2415,12 + 10400 = 12815,12 \text{ N}$$

Výpočet celkové ohybové síly s ohledem na kalibraci:

$$F_{OC} = F'_{OC} \cdot 2 = 12815,12 \cdot 2 = 25630,24 \text{ N} \quad (4.10)$$

Ohybová práce pro čtvrtý krok, kde součinitel zaplnění  $\delta$  volím 0,5:

$$A_{O1} = F_{OP1} \cdot h_{O1} \cdot \delta = 2415,12 \cdot 0,004 \cdot 0,5 = 4,83 \text{ J}$$

Ohybová práce pro poslední krok:

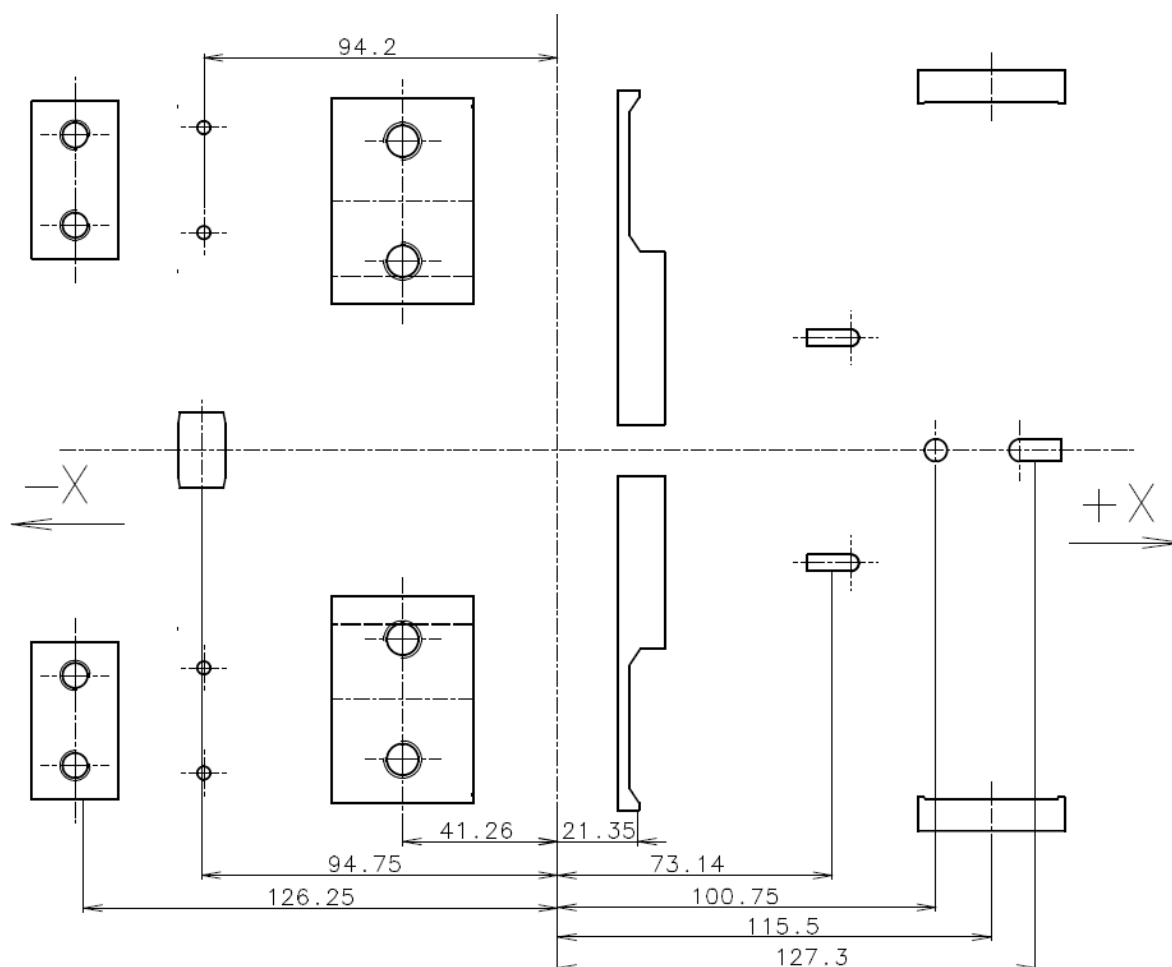
$$A_{O2} = F_{OP2} \cdot h_{O2} \cdot \delta = 10400 \cdot 0,0093 \cdot 0,5 = 48,36 \text{ J}$$

Celková ohybová práce:

$$A_{OC} = 48,36 + 4,83 = 53,19 \text{ J}$$

## 4.5 Výpočet polohy stopky

Výslednice celkové tvářecí síly musí působit ve svislé ose beranu lisu, jinak by došlo ke vzniku klopných momentů, které by ovlivnily přesnost součástí a činné části nástroje by se nerovnoměrně opotřebovávaly. U daného nástřihového plánu je zde velká výhoda a to, že součást je symetrická podle osy. Tím pádem zde bude výpočet jen pro jednu osu dle uvedeného vztahu. Do výpočtu budou vystupovat celková střižná síla a celková ohybová síla. Vzhledem k tomu že bodem, od kterého jsou kótovány vzdálenosti, je střed upínací desky, tak do výpočtu nebude vstupovat síla od pružin. Pružiny jsou rozmístěny rovnoměrně a ve výpočtu by nehrály žádnou roli. Těžiště jednotlivých obrazců byly vypočítány pomocí programu Autodesk Inventor 2017.



Obr. 39 Rozmístění jednotlivých sil

Nejprve je nutno stanovit celkovou sílu pro tváření dle vztahu:

$$F_{celk} = F_{SC} + F_{OC} + F_{ST}, \quad (4.11)$$

kde:  $F_{celk}$  – celková síla pro tváření [N]

Pro výpočet polohy stopky platí následující vztah:

$$X_T = \frac{F_i \cdot x_i}{F_{celk}}, \quad (4.12)$$

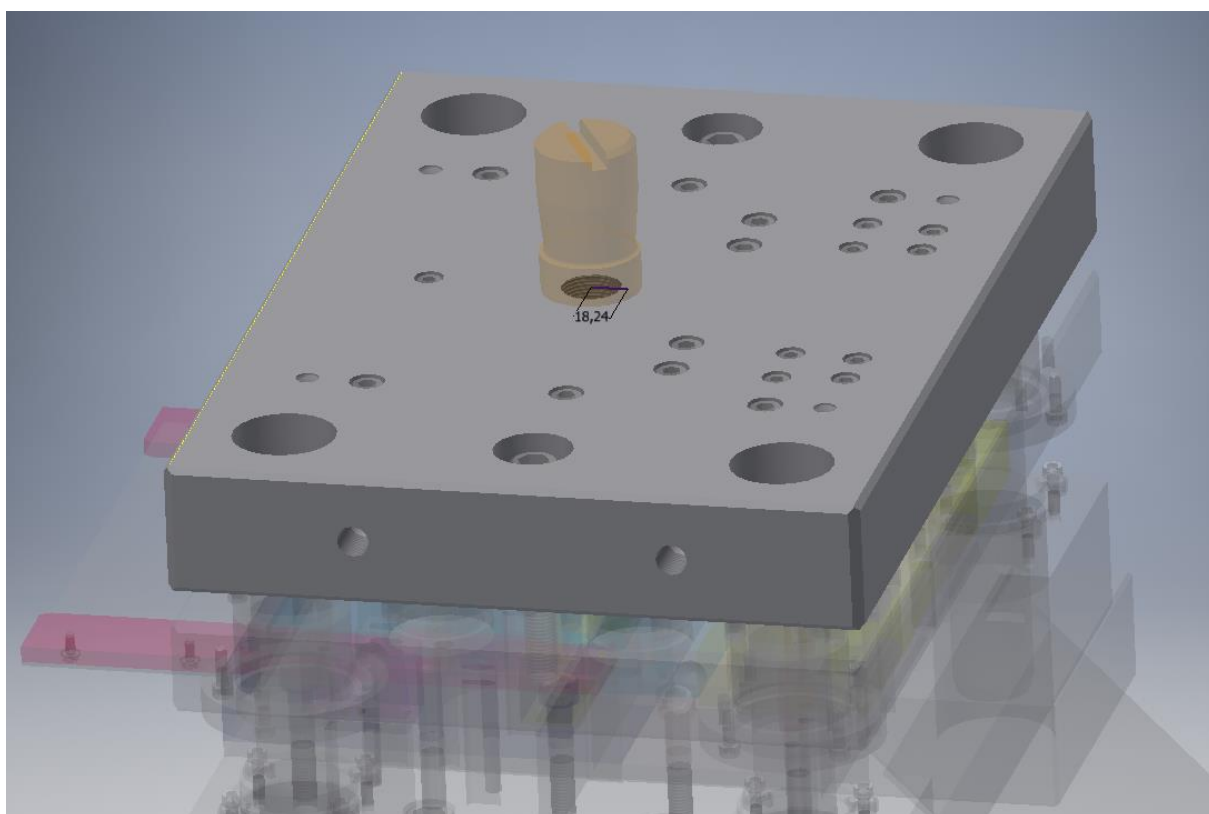
kde:  $X_T$  – poloha stopky [mm]  
 $F_i$  – velikost dané síly [N]  
 $x_i$  – poloha působí vůči počátku[-]

$$F_{celk} = F_{SC} + F_{OC} + F_{ST} = 235967,22 + 25630,24 + 28316,07 = 289913,53 \text{ N}$$

$$X_T = \frac{13650,82 \cdot 127,3 + 28023,93 \cdot 115,5 + 6872,83 \cdot 100,75 + 25218,62 \cdot 73,14}{289913,53} +$$

$$+ \frac{137471,23 \cdot 21,35 - 4830,24 \cdot 41,26 - 16036,21 \cdot 94,2 - 8693,18 \cdot 94,75}{289913,53} +$$

$$+ \frac{-20800 \cdot 126,2}{289913,53} = 18,24 \text{ mm}$$



Obr. 40 Poloha stopky

## 4.6 Volba stroje

Vzhledem k vypočtené hodnotě celkové tvářecí síly s bezpečností (4.13) volím lis LEN 63C (obr. 41). Lis je vhodný pro tvářecí operace za studena a samozřejmě splňuje další parametry, jako jsou rozměry stolu, zdvih a nástroj se do jeho beranu upíná pomocí stopky. Parametry jsou uvedeny v tab. 5.

Výpočet celkové tvářecí síly s bezpečností pomocí vztahu:

$$F_{bezp} = 1,5 \cdot F_{celk} = 1,5 \cdot 289913,53 = 434870,3 \text{ N} \quad (4.13)$$

kde:  $F_{bezp}$  – celková tvářecí síla s bezpečností [N]

Tab. 5 Parametry lisu LEN 63C [14]

Jmenovitá síla lisu	630 kN
Počet zdvihů trvalý chod P/R	65/130 min <sup>-1</sup>
Stavitelnost zdvihu	10 až 105 mm
Stavitelnost beranu	70 mm
Vyložení	315 mm
Sevření	335 mm
Přechod	355 mm
Výška lisu	2550 mm
Šířka lisu	1375 mm
Hloubka lisu	1790 mm
Hmotnost lisu	5820 kg
Plocha stolu	630x800 mm
Plocha beranu	280x450 mm
Rozměry upínací dutiny	50x85 mm



Obr. 41 Lis LEN 63C [26]

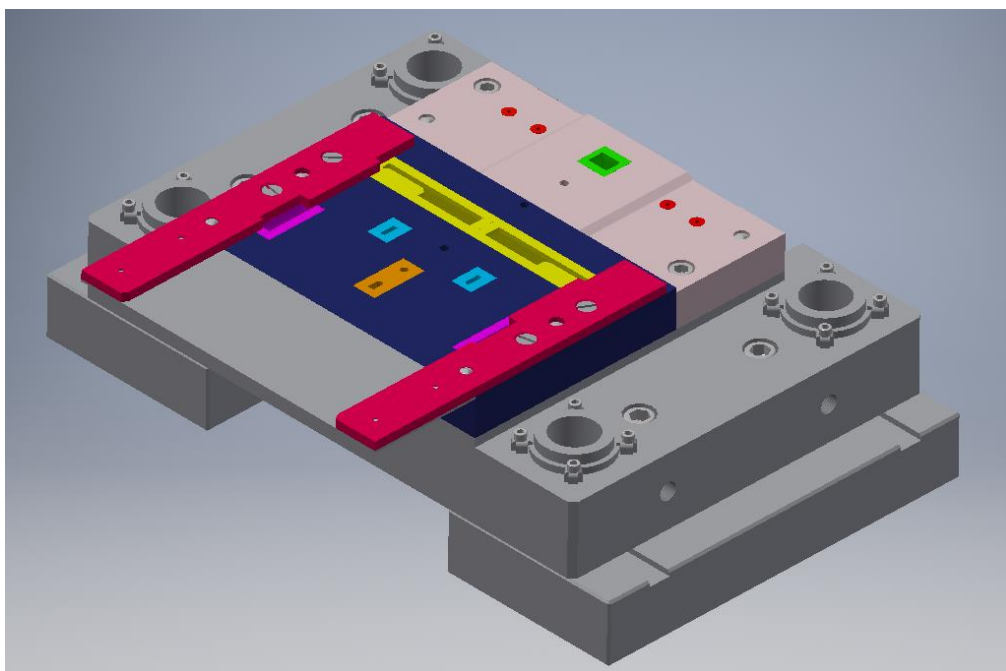
Nástroj je konstruován pro tváření v automatickém cyklu, to znamená, že do nástroje se bude svitek odvíjet pomocí odvíjecího zařízení a bude dále postupovat přes rovnačku (obr. 42).



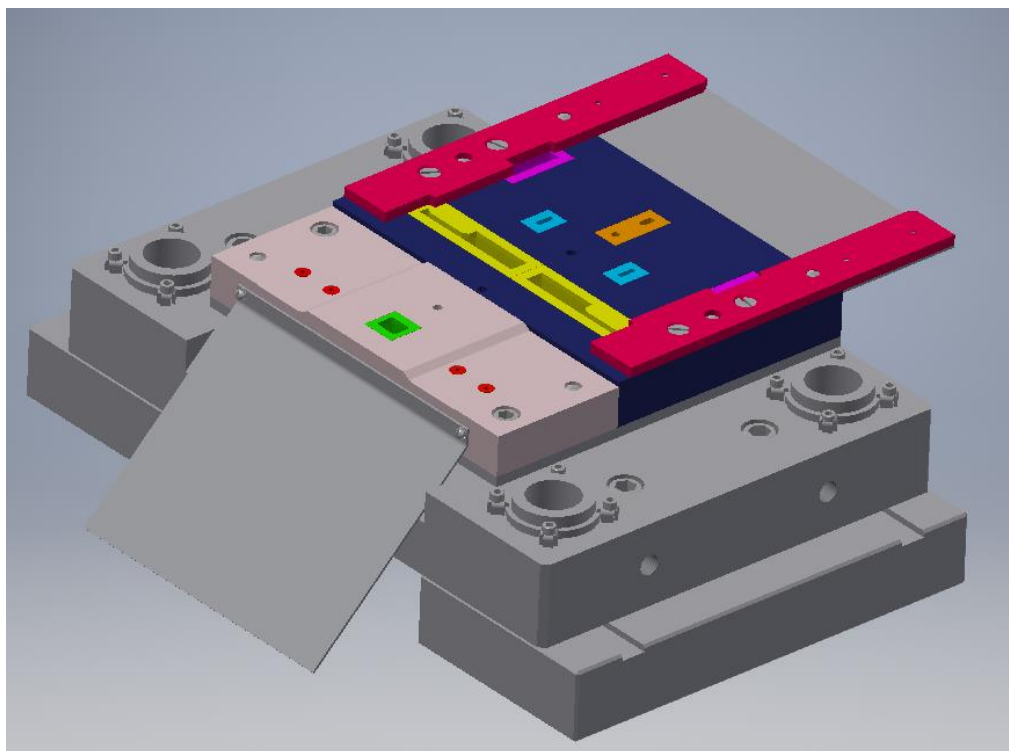
Obr. 42 Odvíjecí a rovnací zařízení [32]

## 4.7 Model nástroje

V této podkapitole bude pomocí několika obrázků rozebrán celý nástroj, včetně slovních popisků. Pro lepší přehlednost je nástroj rozdělen na více částí. Zde na (obr. 43) a (obr. 44) je znázorněna dolní část. Na (obr. 43) a (obr. 44) je vidět, že se jedná o nástroj s vložkovanou střižnicí, která má tmavě modrou barvu. V další části se světle růžovou barvou je matrice, na které probíhají ohyby a stříh. Dolní lišty jsou opatřeny vzduchovými drážkami. Na základové desce jsou zhotoveny manipulační závity pro lepší manipulaci během výroby a převoz nástroje.

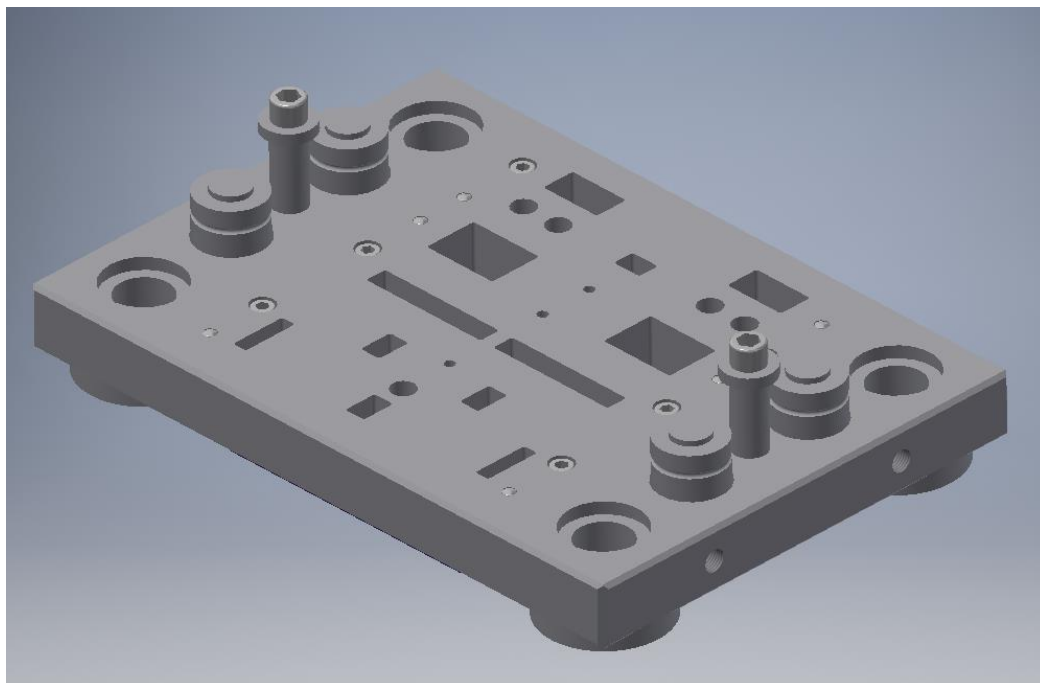


Obr. 43 Pohled na dolní část nástroje zepředu

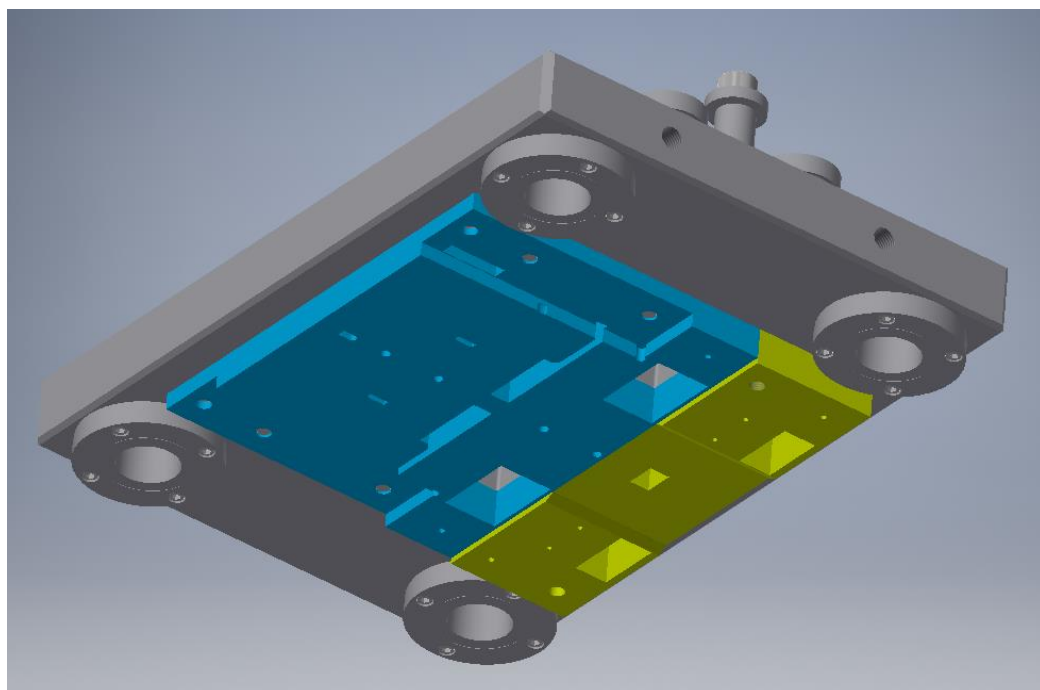


Obr. 44 Pohled na dolní část nástroje zezadu

Další podsestavou nástroje je jeho střední část. Skládá se z desky přidržovače, plynových pružin, pouzder a podložek pro šrouby, vodících pouzder, přírub a přidržovačů, které slouží i jako vodící deska.



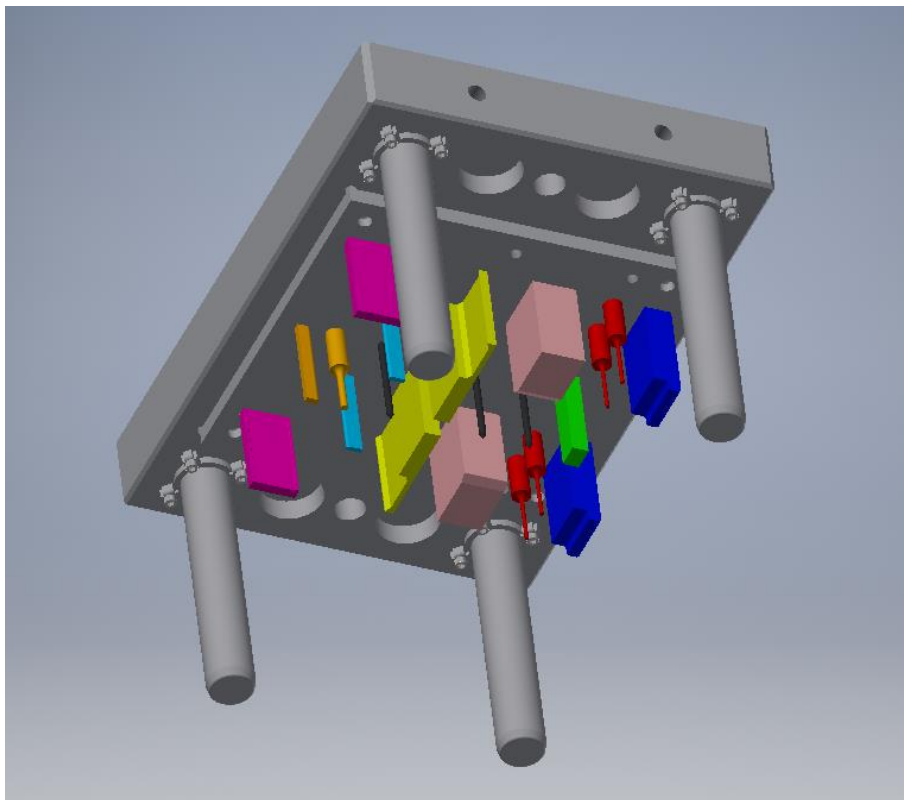
Obr. 45 Pohled na střední část nástroje



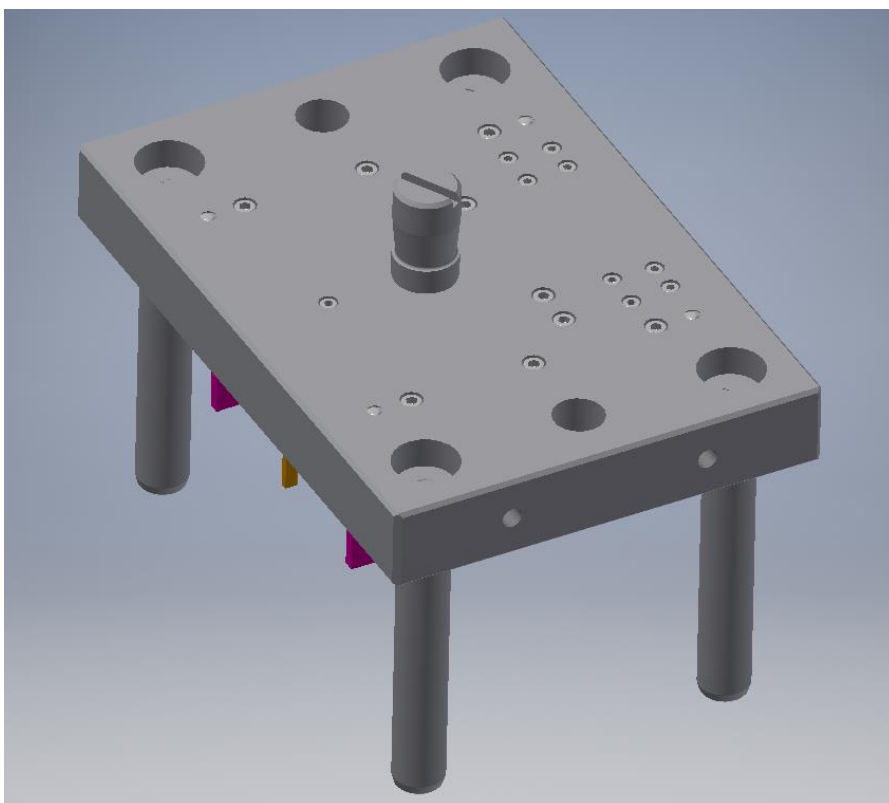
Obr. 46 Pohled na střední část nástroje zespodu



Vrechní část se skládá ze střižníků, ohybníků, hledáků, vodících kolíků, upínek, stopky, upínací desky, opěrné desky a kotevní desky. Opěrná deska na (obr. 47) nejde vidět, a to z důvodu, že je zapustěná do upínací desky.

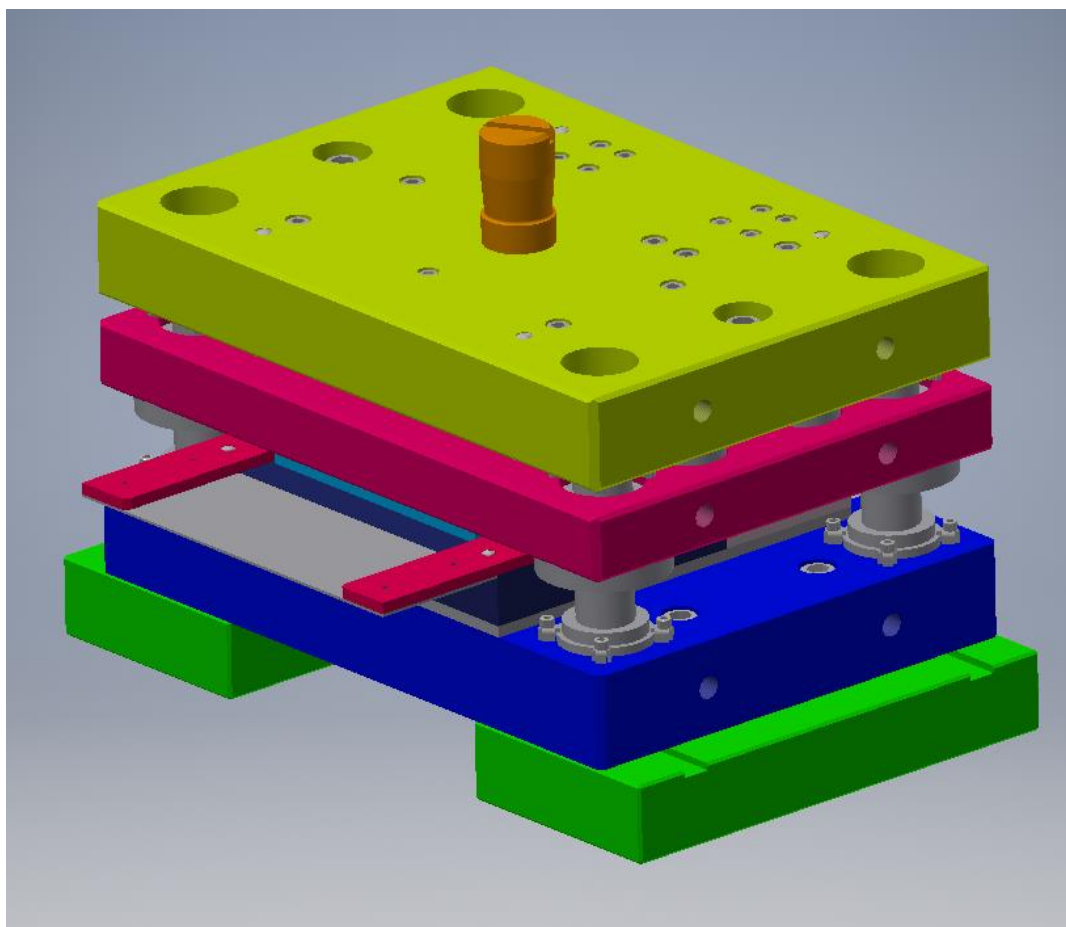


Obr. 47 Horní část pohled na kotevní desku



Obr. 48 Horní část pohled na upínací desku

Zde je zobrazen celý nástroj v dolní úvrati. Pro lepší odlišení jednotlivých desek byly přidány barvy na některé komponenty.



Obr. 49 Nástroj v sevřeném stavu

## 5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Nyní je nutno stanovit cenu jednoho ustavovacího úhelníku a bod zvratu, po jehož překročení se stane výroba ziskovou. Nejprve je nutné stanovit vstupní parametry. Při výpočtech budu uvažovat, že firma disponuje lisem LEN 63C, odvíjecím a rovnacím zařízením a samozřejmě taky nástrojárnou, ve které lze zhotovit celý nástroj v žádaných tolerancích.

Výchozím polotovarem pro výrobu je svitek se šířkou 193,3 mm. Zbylé údaje budou zvoleny dle [16]. Minimální průměr svitku  $d_{svitek}$  volím 550 mm. Maximální průměr svitku  $D_{svitek}$  může nabývat až 1800 mm. Volím maximální průměr svitku  $D_{svitek} = 1200 \text{ mm}$ . Pro výpočet hmotnosti bude použita hustota  $\rho_{ocel} = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Nejprve je nutno stanovit hmotnost jednoho svitku podle vztahu:

$$m_{svitek} = \frac{(D_{svitek}^2 - d_{svitek}^2) \cdot \pi}{4} \cdot \check{S} \cdot \rho, \quad (5.1)$$

kde:  $m_{svitek}$  – hmotnost jednoho svitku [kg]

$$m_{svitek} = \frac{(1250^2 - 550^2) \cdot \pi}{4} \cdot 193,3 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 1500,87 \text{ kg}$$

Ze známých parametrů lze lehce dopočítat délka svitku:

$$L_{svitek} = \frac{m_{svitek}}{\check{S} \cdot \rho_{ocel}}, \quad (5.2)$$

kde:  $L_{svitek}$  – délka jednoho svitku [mm]

$$L_{svitek} = \frac{m_{svitek}}{\check{S} \cdot \rho_{ocel}} = \frac{1500,87}{193,3 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}} = 989109,70 \text{ mm}$$

Počet hotových kusů na jeden svitek se stanoví:

$$N_{kus} = \frac{L_{svitek}}{K}, \quad (5.3)$$

kde:  $N_{kus}$  – počet kusů na jeden svitek [ks]

$$N_{kus} = \frac{L_{svitek}}{K} = \frac{989109,7}{39} = 25361,78 \approx 25361 \text{ ks}$$

Počet svitků na celou sérii se stanoví:

$$N_{svitek} = \frac{200000}{N_{kus}}, \quad (5.4)$$

kde:  $N_{svitek}$  – počet svitků na celou sérii [ks]

$$N_{svitek} = \frac{200000}{N_{kus}} = \frac{200000}{25361} = 7,89 \text{ ks volím } 8 \text{ ks}$$

Plocha svitku:

$$S_{svitek} = L_{svitek} \cdot \check{S}, \quad (5.5)$$

kde:  $S_{svitek}$  – využití jednoho svitku [ $\text{mm}^2$ ]

Procentuální využití jednoho svitku:

$$\mu_{svitek} = \frac{N_{kus} \cdot S_{kus}}{S_{svitek}} \cdot 100, \quad (5.6)$$

kde:  $\mu_{svitek}$  – využití jednoho svitku [%]

$S_{kus}$  – plocha jednoho rozvinutého kusu bez konstrukčních otvorů [ $\text{mm}^2$ ]

(obsah stanoven je podle Inventoru)  $S_{kus} = 6686,4 \text{ mm}^2$ .

$$\mu_{svitek} = \frac{N_{kus} \cdot S_{kus}}{S_{svitek}} \cdot 100 = \frac{25361 \cdot 6686,4}{989109,7 \cdot 193,3} \cdot 100 = 88,69 \%$$

Procentuální využití všech svitků:

$$\mu_{csvitek} = \frac{200000 \cdot S_{kus}}{S_{svitek} \cdot N_{svitek}} \cdot 100, \quad (5.7)$$

kde:  $\mu_{csvitek}$  – využití jednoho svitku [%]

$$\mu_{csvitek} = \frac{200000 \cdot S_{kus}}{S_{svitek} \cdot N_{svitek}} \cdot 100 = \frac{200000 \cdot 6686,4}{989109,7 \cdot 193,3 \cdot 8} \cdot 100 = 87,43 \%$$

Pro vzorový výpočet jsou zvoleny ceny svitku v  $K\check{c} \cdot kg^{-1}$  dle [27] a cena výkupního odpadu dle [20]. Cena svitku je zvolena  $C_{svitek} = 17,20 K\check{c} \cdot kg^{-1}$  a výkupní cena odpadu je zvolena  $C_{odp} = 2,70 K\check{c} \cdot kg^{-1}$ .

Nejprve je nutno stanovit celkovou hmotnost všech svitků:

$$m_{svitk\acute{u}} = m_{svitek} \cdot N_{svitek}, \quad (5.8)$$

kde:  $m_{svitk\acute{u}}$  – hmotnost všech svitků [kg]

$$m_{svitk\acute{u}} = 1500,87 \cdot 8 = 12006,96 \cong 12007 \text{ kg}$$

Cena všech svitků:

$$C_{svitk\acute{u}} = m_{svitk\acute{u}} \cdot C_{svitek}, \quad (5.9)$$

kde:  $C_{svitk\acute{u}}$  – cena všech svitků [Kč]

$$C_{svitk\acute{u}} = 12007 \cdot 17,20 = 206520 \text{ Kč}$$

Hmotnost všech součástí:

$$m_{s\acute{e}rie} = m_{sou\check{c}} \cdot 200000, \quad (5.10)$$

kde:  $m_{s\acute{e}rie}$  – hmotnost všech součástí [kg]

$m_{sou\check{c}}$  – hmotnost jedné součástky (váha stanovena dle Inventoru) [kg]

$$m_{s\acute{e}rie} = m_{sou\check{c}} \cdot 200000 = 0,043 \cdot 200000 = 8600 \text{ kg}$$

Hmotnost odpadu:

$$m_{odpad} = m_{svitk\acute{u}} - m_{s\acute{e}rie}, \quad (5.11)$$

kde:  $m_{odpad}$  – hmotnost odpadu [kg]

$$m_{odpad} = m_{svitk\acute{u}} - m_{s\acute{e}rie} = 12007 - 8600 = 3407 \text{ kg}$$

Cena odpadu:

$$C_{odpad} = C_{odp} \cdot m_{odpad}, \quad (5.12)$$

kde:  $C_{odpad}$  – cena odpadu [Kč]

$$C_{odpad} = C_{odp} \cdot m_{odpad} = 2,70 \cdot 3407 = 9189,9 \cong 9190 \text{ Kč}$$

Celková cena materiálu:

$$C_{mat} = C_{svitk\acute{u}} - C_{odpad}, \quad (5.13)$$

kde:  $C_{mat}$  – cena materiálu [Kč]

$$C_{mat} = C_{svitk\acute{u}} - C_{odpad} = 206520 - 9190 = 197330 \text{ Kč}$$

Cena materiálu na jeden ustavovací úhelník:

$$C_{uhelmat} = \frac{C_{mat}}{200000}, \quad (5.14)$$

kde:  $C_{uhelmat}$  – cena materiálu jednoho ustavovacího úhelníku [Kč]

$$C_{uhelmat} = \frac{197330}{200000} = 0,99 \text{ Kč}$$

V další části budou započítány parametry jako cena nástroje a plat obsluhy lisu. Cena nástroje je zde uvažována pouze jako výrobní cena, takže se do ní nebudou započítávat ceny

přebušování jednotlivých činných dílů a ani jejich opětovná výroba. Proto volím cenu nástroje  $C_{nástroj} = 200000 \text{ Kč}$ . Cena byla stanovena odhadem na základě cen podobně rozměrných nástrojů. Plat obsluhy za hodinu je parametr závislý na několika proměnných, kde nejvýznamnější z nich je lokace firmy. Úměrně tomu volím průměrný plat obsluhy lisu za hodinu  $C_{obsluha} = 110 \text{ Kč} \cdot h^{-1}$ . Dalším parametrem by zde mohl být plat pracovníka kontroly, ten zde bude zanedbán. Vzhledem k velikosti výrobní série a užití postupového sdruženého nástroje zde bude uvažován jednosměnný, osmihodinový provoz, kde čistý pracovní čas jedné směny volím  $t_{směny} = 7 \text{ h}$ . Zbýlý čas je vymezen pro výměnu svitek a krátké pauzy pro snížení tepelného namáhání nástroje. Pro plynulý chod volím počet zdvihů beranu za minutu  $N_{zdvih} = 65 \text{ min}^{-1}$  dle tab. 5.

Počet součástí za směnu:

$$N_s = t_{směny} \cdot 60 \cdot N_{zdvih}, \quad (5.15)$$

kde:  $N_s$  – počet součástí za směnu [ks]

$$N_s = 7 \cdot 60 \cdot 65 = 27300 \text{ ks}$$

Počet směn na zhotovení celé série:

$$N_{směn} = \frac{200000}{N_s}, \quad (5.16)$$

kde:  $N_{směn}$  – počet směn [-]

$$N_{směn} = \frac{200000}{27300} = \frac{200000}{27300} = 7,32 \cong 8 \text{ směn}$$

Do výpočtu platu obsluhy lisu je nutné zahrnout sociální a zdravotní pojištění dle [15], kde zaměstnavatel platí 9 % ze základní mzdy zdravotního pojištění a u sociálního pojištění platí 25 %.

Plat obsluhy na výrobu celé série:

$$C_{obs} = C_{obsluha} \cdot (1 + 0,09 + 0,25) \cdot N_{směn} \cdot 8, \quad (5.17)$$

kde:  $C_{obs}$  – plat obsluhy na výrobu celé série [Kč]

$$C_{obs} = C_{obsluha} \cdot (1 + 0,09 + 0,25) \cdot N_{směn} \cdot 8 = 110 \cdot (1,34) \cdot 8 \cdot 8 = 9433,6 \text{ Kč}$$

Důležitými parametry jsou výrobní a správní režijní náklady. Řadí se mezi nepřímé náklady na výrobu. Výši výrobních režijních nákladů volím  $C_{rež} = 2$  a výši správních režijních nákladů volím  $C_{spr} = 0,9$ .

$$C_{nákl} = C_{obs} \cdot (C_{spr} + C_{rež}), \quad (5.18)$$

kde:  $C_{nákl}$  – celkové náklady na mzdy včetně režii [Kč]

$$C_{nákl} = C_{obs} \cdot (C_{spr} + C_{rež}) = 9433,6 \cdot (0,9 + 2) = 27357,4 \cong 27357 \text{ Kč}$$

V Předposledním kroku je nutno spočítat cenu elektrické energie pro celou výrobní sérii, kde bude uvažovaná cena za 1 kWh  $C_{kwh} = 3,71 \text{ Kč} \cdot kWh^{-1}$  dle [33]. Jelikož zde byly zvoleny konkrétní odvíjecí a rovnací zařízení bude zde proveden výpočet pro lis LEN 63C, který má výkon  $P_l = 7,5 \text{ kW}$ .

$$C_{energie} = C_{kwh} \cdot N_{směn} \cdot t_{směny} \cdot P_l, \quad (5.19)$$

kde:  $C_{energie}$  – cena za elektrickou energii [Kč]

$$C_{energie} = C_{kwh} \cdot N_{směn} \cdot t_{směny} \cdot P = 3,71 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 7,5 = 1558,2 \cong 1558 \text{ Kč}$$

Nyní jsem schopen vypočítat cenu ustavovacího úhelníku, která zahrnuje všechny výše uvedené náklady.

Cena materiálu na jeden ustavovací úhelník:

$$C_{uhelnik} = \frac{C_{mat} + C_{energie} + C_{nákl} + C_{nástroj}}{200000}, \quad (5.20)$$

kde:  $C_{uhelnik}$  – cena jednoho ustavovacího úhelníku [Kč]

$$C_{uhelnik} = \frac{C_{mat} + C_{energie} + C_{nákl} + C_{nástroj}}{200000} = \frac{197330 + 1558 + 27357 + 200000}{200000} = 2,13 \text{ Kč}$$

Cena jedné součásti bude o 30% navýšena a to z důvodu zisku.

$$C_{zisk} = C_{uhelnik} \cdot 1,3, \quad (5.21)$$

kde:  $C_{zisk}$  – cena jednoho ustavovacího úhelníku s ohledem na zisk [Kč]

$$C_{zisk} = C_{uhelnik} \cdot 1,3 = 2,13 \cdot 1,3 = 2,78 \text{ Kč}$$

Stanovení fixních nákladů.

$$N_{fix} = C_{nástroj} + C_{nákl} - C_{obs}, \quad (5.22)$$

kde:  $N_{fix}$  – Výše fixních nákladů [Kč]

$$N_{fix} = C_{nástroj} + C_{nákl} - C_{obs} = 200000 + 27357 - 9433,6 = 217923,4 \text{ Kč}$$

Stanovení variabilních nákladů.

$$N_{var} = C_{uhelmat} + \frac{C_{obs}}{200000}, \quad (5.23)$$

kde:  $N_{var}$  – Výše variabilních nákladů [Kč]

$$N_{var} = C_{uhelmat} + \frac{C_{obs}}{200000} = 0,99 + \frac{9433,6}{200000} = 1,04 \text{ Kč}$$

Určení bodu zvratu.

$$Z = \frac{N_{fix}}{C_{zisk} - N_{var}}, \quad (5.24)$$

kde:  $Z$  – Bod zvratu [ks]

$$Z = \frac{N_{fix}}{C_{zisk} - N_{var}} = \frac{217923,4}{2,78 - 1,04} = 125243,3 \text{ ks}$$

Po překročení 125244 ks se stane výroba ziskovou. Je však nutno podotknout, že zde nebyly započítány parametry, jako je ostření a výroba nových dílů do nástroje.

## 6 ZÁVĚRY

Vyráběná součást ustavovací úhelník je vyráběna z konstrukční pozinkované oceli EN10346-DX53D+Z100-M-B-C. Součást je vyráběna z polotovaru o tloušťce 1 mm.

Při výběru technologie se musely vzít v potaz všechny faktory, mezi něž patří tvar součásti, tolerance, materiál a velikost výrobní série. Výběr výrobní technologie nejvíce ovlivnila velikost série 200 000 ks·rok<sup>-1</sup>. Jako výsledná výrobní technologie byla zvolena výroba pomocí postupového sdruženého nástroje, kde je kombinován stříh a ohyb. Součást vyhovuje všem konstrukčně technologickým parametrům, takže nebylo nutné uvažovat úpravu součásti.

Polotovarem pro tváření byl zde zvolen svitek, který bude zastřížen na šířku 193,3 mm. Do nástroje bude veden pomocí vodících lišt, které v nástroji zastávají i funkci dorazů. Svitek bude odvíjen z odvíjecího zařízení přes rovnačku do nástroje.

Pro tváření v postupovém sdruženém nástroji byly provedeny potřebné výpočty, které zahrnují střížnou a ohybovou sílu, střížnou a ohybovou práci, střížnou vůli a výpočet polohy stopky.

Předposledním krokem bylo určení lisu. Na základě výsledné tvářecí síly byl zvolen lis LEN 63C od výrobce Šmeral Trnava, který vyhovuje všem dalším parametrům pro výrobu.

Posledním krokem bylo zhodnocení návrhu z technicko - ekonomického hlediska, kde byla vypočtena cena jednoho ustavovacího úhelníku a ta činí 2,78 Kč. Bod zvratu zde nastává při 125244 kusech, po jehož překročení se stane výroba ziskovou.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [25]

1. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
2. DOBROVOLNÝ, Bohumil. *Pokrokové konstrukce lisovacích nástrojů*. Praha: Práce, 1959. Technický výběr do kapsy.
3. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
4. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
5. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-107-00452-8.
6. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
7. KŘÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka*. Praha: Scientia, 1998. ISBN 80-718-3054-2.
8. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
9. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
10. ROMANOVSKIJ, V. P. *Příručka pro lisování za studena*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959. Řada strojírenské literatury.
11. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-839-7.
12. Ohýbací nástroj. In: *ZIHOS s.r.o.* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.zihos.cz/index.php?oid=3581706>
13. Ohraňovací nástroje. In: *TOOLSCZ* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://ohranovaci-nastroje.cz/>
14. Parametry lisu LEN 63C. In: *TOMA TRADING s.r.o.* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.tomatrading.sk/vystrednikove-lisy.html>
15. Výpočet mzdy. In: *Finance.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.finance.cz/dane-a-mzda/mzda/odvody-socialniho-a-zdravotniho-pojisteni/zamestnanci-zdravotni-pojisteni/>



16. Mechanické vlastnosti plechu. In: *Alfun metal service center* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/produkty/ocel/plechy-valcovane-za-studena-zarove-pozinkovane>
17. Laserové řezání. In: *Jontech* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://jontech.cz/cs/technologie-a-sluzby/laserove-rezani/>
18. Ohraňování. In: *EVROPSKÁ DATABANKA* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://nabidky.edb.cz/Nabidka-41333-Vyroba-na-ohranovacim-lisu-CNC-ohranovani-plechu-Vysocina>
19. Součásti zhotovené pomocí ohraňování. In: *Dama spol. s r.o.* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.idama.cz/vyroba>
20. Výkup odpadu. In: *Kovošrot s.r.o.* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.kovokomsrot.cz/cenik-vykupu-kovu/>
21. Normálie do nástrojů. In: *FIBRO* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: [http://www.fibro.de/fileadmin/data/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog\\_Czech/](http://www.fibro.de/fileadmin/data/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog_Czech/)
22. Výlisky zhotovené plošným tvářením. In: *ZEVEta MACHINERY a.s.* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.zeveta.cz/>
23. Postupový střížný nástroj. In: *FESTOOL* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: [http://www.vyrobaforem.cz/cs/strizne\\_nastroje.html](http://www.vyrobaforem.cz/cs/strizne_nastroje.html)
24. Střížníky, ohýbání, zakružování. In: *Technická univerzita Liberec* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/)
25. *CITACE PRO* [online]. 2012 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: [www.citace.lib.vutbr.cz](http://www.citace.lib.vutbr.cz)
26. LEN 63C. In: *PRESSMONT, s.r.o.* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.opravy-stroju-lisu.cz/opravy-a-servis/len-63-c/>
27. Ceny svitků. In: *AVM Metal s.r.o.* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.avmmetal.cz/novinky.php?p=fullpage&cislopolozky=3>
28. Plynové pružiny RV1000-016-A. In: *EICHLER COMPANY a.s.* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.eichlercompany.cz/nasi-dodavatele/special-springs-s-r-l/>
29. Řezání vodním paprskem. In: *ELUC* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1425>
30. Postupový sdružený nástroj. In: *INKONA* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.inkona.cz/>

31. ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vřely: Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1975.
32. Odvíjecí a rovnací zařízení. In: *KONTURA TOOLS s.r.o.* [online]. 2017 [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: [www.konturtools.cz](http://www.konturtools.cz)
33. Cena 1kWh. In: *Energie123.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>
34. Chemické složení oceli. In: *SSAB* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.ssab.com/products/steel-categories/metal-coated-steels/steelselector/metal-coated-formable-steels>
35. Fineblanking. In: *Precomp Solutions* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://precomp.se/en/technology/technology-areas/fineblanking>
36. Plazmové řezání. In: *Schinkmann* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.schinkmann.cz/plazma>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
$A_O$	Ohybová práce	[J]
$A_{oc}$	Celková ohybová práce	[J]
$A_s$	Střižná práce	[J]
$a$	Šířka	[mm]
$b$	Šířka	[mm]
$b_I$	Šířka pro kvadratický moment	[mm]
$C_{energie}$	Cena energie	[Kč]
$C_{mat}$	Cena materiálu	[Kč]
$C_{nákl}$	Mzdy celkové	[Kč]
$C_{nástroj}$	Výrobní cena nástroje	[Kč]
$C_{obs}$	Plat obsluhy na sérii	[Kč]
$C_{obsluha}$	Plat obsluhy za hodinu	[Kč]
$C_{odpad}$	Cena za odpad	[Kč]
$C_{spr}$	Správní náklady	[Kč]
$C_{rež}$	Režijní náklady	[Kč]
$C_{svitků}$	Cena svitků	[Kč]
$C_{uhelmat}$	Cena materiálu na jeden úhelník	[Kč]
$C_{úhelník}$	Cena úhelníku	[Kč]
$C_{zisk}$	Cena úhelníku včetně zisku	[Kč]
$c$	Šířka	[mm]
$c_p$	Součinitel minimálního poloměru ohybu	[-]
$c_s$	Součinitel závislý na stupni stříhu	[-]
$D$	Průměr	[mm]
$D_{svitek}$	Velký průměr svitku	[mm]
$d$	Průměr	[mm]
$d_{svitek}$	Malý průměr svitku	[mm]
$E$	Youngův modul	[MPa]
$e$	Můstek	[mm]
$F_{bezp}$	Tvářecí síla po bezpečnosti	[N]
$F_{celk}$	Celková tvářecí síla	[N]
$F_i$	Velikost dané síly	[N]
$F_o$	Ohybová síla	[N]
$F_{oc}$	Ohybová síla celková	[N]
$F_{OC}$	Ohybová síla celková	[N]
$F_s$	Střižná síla	[N]
$F_{SC}$	Střižná síla celková	[N]
$F_{ST}$	Stírací síla	[N]
$f$	Velikost postranního odpadu	[mm]
$h$	Výška fazetky	[mm]
$h_O$	Délka dráhy ohybníku	[m]
$h_I$	Šířka pro kvadratický moment	[mm]
$I_K$	Kvadratický moment kruhu	[mm <sup>4</sup> ]
$I_O$	Kvadratický moment obdélníku	[mm <sup>4</sup> ]
$JR$	Jmenovitý rozměr	[mm]
$K$	Krok	[mm]
$L$	Délka neutrální plochy	[mm]
$L_{svitek}$	Délka svitku	[mm]
$l$	Délka střižné křivky	[mm]
$l_{krit}$	Kritická délka střižníku	[mm]
$l_p$	Vzdálenost podpěr na ohybnici	[mm]
$m_{odpad}$	Hmotnost odpadu	[kg]
$m_{série}$	Hmotnost celé série	[kg]

$m_{\text{souč}}$	Hmotnost součásti	[kg]
$m_{\text{svitek}}$	Hmotnost svitku	[kg]
$m_{\text{svitků}}$	Hmotnost svitků	[kg]
$N_{\text{fix}}$	Fixní náklady	[Kč]
$N_{\text{var}}$	Variabilní náklady	[Kč]
$N_{\text{kus}}$	Počet kusů	[-]
$N_{\text{pruž}}$	Počet pružin	[-]
$N_{\text{směn}}$	Počet směn	[-]
$N_{\text{zdvih}}$	Počet zdvihů	[-]
$N_{\text{svitek}}$	Počet svitků	[-]
$n$	Součinitel otupení	[-]
$P$	Opotřebení	[mm]
$P_l$	Výkon lisu	[kW]
$R_e$	Mez kluzu	[MPa]
$R_m$	Mez pevnosti	[MPa]
$R_{\text{max}}$	Maximální poloměr ohybu	[mm]
$R_{\text{min}}$	Minimální poloměr ohybu	[mm]
$R_o$	Poloměr ohybu	[mm]
<b>RAD</b>	Rozměr střížníku při děrování	[mm]
<b>RED</b>	Rozměr střížnice při děrování	[mm]
$S$	Střížná plocha	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{\text{svitek}}$	Plocha svitku	[mm <sup>2</sup> ]
$s$	Tloušťka polotovaru	[mm]
$s_A$	Dráha při stříhání	[mm]
$\check{S}$	Šířka pásu	[mm]
<b>TA</b>	Výrobní tolerance střížníku	[mm]
<b>TE</b>	Výrobní tolerance střížnice	[mm]
$t_{\text{směny}}$	Čistý výrobní čas	[h]
$v$	Střížná vůle	[mm]
$x$	Posunutí neutrální osy	[mm]
$x_i$	Poloha působení síly	[mm]
$X_T$	Poloha celkové tvářecí síly	[mm]
$Z$	Bod zvratu	[-]
$z$	Střížná mezera	[mm]
$\alpha$	Úhel ohybu	[°]
$\varepsilon_p$	mezní deformace	[-]
$\gamma$	Velikost odpružení	[°]
$\delta$	Součinitel zaplnění	[-]
$\mu$	Koeficient bezpečnosti	[-]
$\mu_{\text{svitek}}$	Využití svitku	[%]
$\mu_{\text{svitků}}$	Využití svitků	[%]
$\pi$	Ludolfovo číslo	[-]
$\rho$	Poloměr neutrální osy	[mm]
$\rho_{\text{ocel}}$	Hustota oceli	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\sigma$	Napětí	[MPa]
$\tau_s$	smykové napětí	[MPa]
$\varphi$	Úhel ohybu	[°]
$\lambda$	Součinitel plnosti	[-]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Ukázky součástí vyrobených plošným tvářením [22].....	9
Obr. 2 Ustavovací úhelník.....	10
Obr. 3 Detail řezání vodník paprskem [29].....	11
Obr. 4 Detail řezání plazmou [36].....	11
Obr. 5 Detail řezání laserem [17].....	11
Obr. 6 Rozdíl střížných ploch přesného stříhání (vlevo) a běžného stříhání (vpravo) [35] .....	12
Obr. 7 Postupový střížný nástroj [23] .....	12
Obr. 8 Ukázka ohraňování plechu [18] .....	13
Obr. 9 Ukázka ohýbacího nástroje [12] .....	13
Obr. 10 Ukázka sduženého nástroje [30].....	13
Obr. 11 Jednotlivé fáze stříhání [1].....	14
Obr. 12 Porovnání stříhu rovného střížníku (vlevo) a zkoseného střížníku (vpravo) [24].....	15
Obr. 13 Ukázky střížných mezer [1].....	16
Obr. 14 Technologičnost stříhaných součástí [1].....	17
Obr. 15 Schéma střížných nástrojů bez vedení (vlevo), s vedením (vpravo) [9].....	18
Obr. 16 Způsoby upnutí střížníků [6].....	19
Obr. 17 Tvarové provedení střížnic [6].....	19
Obr. 18 Skládaná střížnice [9].....	20
Obr. 19 Ukázky variant vložkování střížnic [6].....	20
Obr. 20 Ohýbání do tvaru „V“ a „U“ [24] .....	21
Obr. 21 Rovnání polotovarů [1].....	21
Obr. 22 Schémata zakružování [24].....	22
Obr. 23 Jednoduchý lem [1].....	22
Obr. 24 Kontinuální ohýbání [1].....	22
Obr. 25 Průběh napětí při ohýbání [1] .....	23
Obr. 26 Závislost ohybové síly na dráze [8] .....	24
Obr. 27 Znázornění hodnot pro „V“ ohyb [3].....	25
Obr. 28 Úpravy ohybníků pro eliminaci odlehčení.....	26
Obr. 29 Technologičnost výlisků [1] .....	26
Obr. 30 Výlisky zhotovené ohraňováním [22].....	27
Obr. 31 Schéma ohýbadla pro excentrický lis s ohýbáním do tvaru „V“ [24].....	28
Obr. 32 Tvarové čelisti ohraňovacích nástrojů [13].....	28
Obr. 33 Ustavovací úhelník s kótami .....	29
Obr. 34 Vyznačení jednotlivých ploch pro rozvin v první ose .....	30
Obr. 35 Vyznačení ploch pro rozvin v druhé ose.....	30
Obr. 36 Varianta 1.....	31
Obr. 37 Varianta 2.....	31
Obr. 38 Nástřihový plán.....	32
Obr. 39 Rozmístění jednotlivých sil.....	36
Obr. 40 Poloha stopky.....	37
Obr. 41 Lis LEN 63C [26] .....	38
Obr. 42 Odvíjecí a rovnací zařízení [32].....	38
Obr. 43 Pohled na dolní část nástroje zepředu.....	39
Obr. 44 Pohled na dolní část nástroje zezadu.....	39
Obr. 45 Pohled na střední část nástroje.....	40
Obr. 46 Pohled na střední část nástroje zespodu .....	40
Obr. 47 Horní část pohled na kotevní desku .....	41
Obr. 48 Horní část pohled na upínací desku .....	41
Obr. 49 Nástroj v sevřeném stavu.....	42

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli DX53D [16] .....	10
Tab. 2 Chemické složení oceli DX53D [34] .....	10
Tab. 3 Určení součinitele neutrální osy [10] .....	24
Tab. 4 Hodnoty nepředepsaných tolerancí pro stupeň m [11] .....	34
Tab. 5 Parametry lisu LEN 63C [14] .....	38


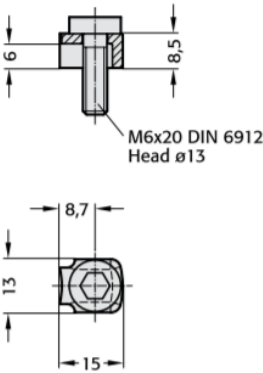
## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Upínky [21]
Příloha 2	Vodící pouzdra [21]
Příloha 3	Vodící kolíky [21]
Příloha 4	Pružina RV1000 - 016 - A [28]
Příloha 5	Vzorce pro výpočet střížníků a střížnic pro děrování [31]
Příloha 6	Podložka pro vodící sloupek [21]
Příloha 7	Přípustné míry opotřebení [31]

## SEZNAM VÝKRESŮ

Sestava_1	BP-01-170455
Sestava_2	BP-02-170455
Sestava_3	BP-03-170455
Kusovník	BP-04-170455
Výkres součásti	BP-05-170455
Hledák	BP-14-170455
Tvarová vložka	BP-16-170455
Tvarový střížník	BP-35-170455

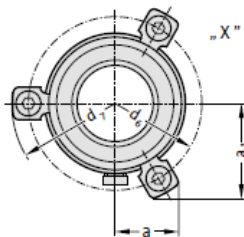
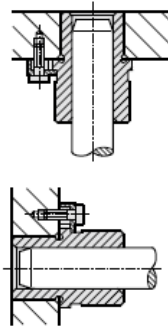
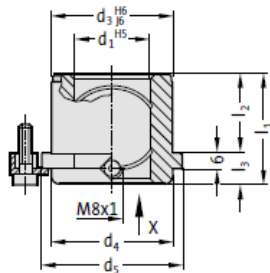
Příloha 1 Upínky [21]

		<b>FIBRO</b>	
<b>Screw Clamps for guide elements</b>		<b>207.45</b>	<b>2071.45 2072.45.</b>
	<b>207.45</b> 	<b>207.45 Screw Clamp</b> incl. screw – steel punched bent component – clamping height 6-6,3 mm – M6 screw	

Headed guide bush "ECO-LINE", bronzeplated, ISO 9448-6

2081.95.

Mounting example



**Material:**

Steel, d<sub>3</sub> induction hardened

**Execution:**

Bronze plated internal bore.

Diameter d<sub>3</sub> and collar face precision ground.

**Note:**

The attachment is with 3 Screw clamp, from Ø d<sub>1</sub> = 38 with 4 Screw clamp, which are included in delivery (Order No: 207.45 - Screw clamp incl. socket cap screw DIN 6912, Head Ø 13).

Matching guide combinations, see selection matrix at the beginning of chapter D.

Assembly guide lines / Dimensional requirements and tolerances at the end of chapter D.

2081.95. Headed guide bush "ECO-LINE", bronzeplated, ISO 9448-6

d <sub>1</sub>	19 20	24 25	30 32	38 40	48 50	60 63	80
d <sub>3</sub>	32	40	48	58	70	85	105
d <sub>4</sub>	32	40	48	58	70	85	105
d <sub>5</sub>	40	48	56	66	80	95	118
d <sub>6</sub>	52	60	67	77	91	106	129
d <sub>7</sub>	64.7	72.7	79.7	89.7	103.7	118.7	141
a	20.7	22.65	24.4	35.3	40.2	45.5	54.4
a <sub>1</sub>	30	33.4	36.4	35.3	40.2	45.5	54.4
l <sub>1</sub>	35	35	42	52	65	80	80
l <sub>2</sub>	23	23	30	37	47	60	60
l <sub>3</sub>	12	12	12	15	18	20	20

**Ordering Code (example):**

Headed guide bush "ECO-LINE", bronzeplated, ISO 9448-6

=2081.95.

Guide diameter d<sub>1</sub>

38 mm= 038

Order No

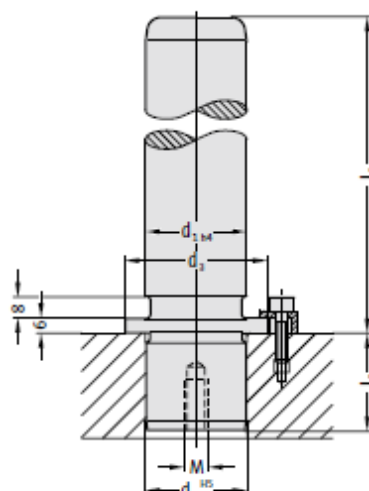
=2081.95.038



## Guide pillar with collar "ECO-LINE"



2021.29.



### Material:

Steel, surface hardened

Surface hardness: 60 + 4 HRC, Hardness penetration 1.5 + 1 mm

### Execution:

ground

Method of manufacturing entails that centre holes are not concentric with O.D.

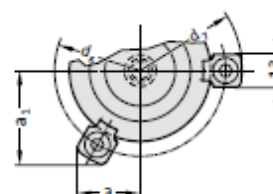
### Note:

Guide pillars only recommended for use with sliding guides!

The attachment is with 3 Screw clamp, from  $\varnothing d_1 = 38$  with 4 Screw clamp, which are Included in delivery (Order No: 207.45 - Screw clamp Incl. socket cap screw DIN 6912, Head  $\varnothing 13$ ).

Matching guide combinations, see selection matrix at the beginning of chapter D.

Assembly guide lines / Dimensional requirements and tolerances at the end of chapter D.



## 2021.29. Guide pillar with collar "ECO-LINE"

$d_1$	15 16	19 20	24 25	30 32	38 40	48 50	60 63	80
$d_2$	15 16	19 20	24 25	30 32	38 40	48 50	60 63	80
$d_3$	22	25	32	40	50	63	80	95
$d_4$	33	36	43	51	61	74	91	106
$d_5$	45.7	48.7	55.7	63.7	73.7	86.7	101.7	118.7
$a$	15.9	16.6	18.4	20.4	29.2	33.8	39.8	46.2
$a_1$	21.7	23	26	29.5	29.2	33.8	39.8	46.2
$M$	M8	M8	M8	M8	M8	M8	M8	M12
$l_2$	20	23	30	37	37	47	47	60
$l_1$								
100	•	•	•	•	•	•	•	•
112	•	•	•	•	•	•	•	•
125	•	•	•	•	•	•	•	•
140	•	•	•	•	•	•	•	•
160	•	•	•	•	•	•	•	•
180	•	•	•	•	•	•	•	•
200	•	•	•	•	•	•	•	•
224	•	•	•	•	•	•	•	•
250	•	•	•	•	•	•	•	•
280	•	•	•	•	•	•	•	•
315	•	•	•	•	•	•	•	•
355	•	•	•	•	•	•	•	•
400	•	•	•	•	•	•	•	•

### Ordering Code (example):

Guide pillar with collar "ECO-LINE"	=2021.29.
Guide diameter $d_1$	32 mm = 032
Length $l_1$	112 = 112
Order No	=2021.29.032.112

# Príloha 4 Pružina RV1000 - 016 - A [28]

RV 1000

ISO 11901 - 3	VDI 3003 - Blatt 3	B2 4005 (BMW)	W-DX35-6204 (Ford)
B8 3180 220 000 004(MB)	E24.54.815.G (PSA)	39D 997 (VW)	

OSAS

USAS




OPAS

**Info**

\*  $F_{1i}$  = Isothermal end force at 100% Cu - see page 31

\*\*  $F_{1p}$  = Polytrophic end force at 100% Cu - see page 31

**easys** - see page 237

 <b>N<sub>2</sub></b>	<div><div>°F</div><div>32</div><div>175</div></div> <div><div>°C</div><div>0</div><div>80</div></div>	<b>ΔP</b> ± 0,33 %/°C	<b>P max</b> 150 bar 2175 psi	<b>P min</b> 20 bar 290psi	<b>S</b> 6,15 cm <sup>2</sup> 0,953 in <sup>2</sup>	<b>SPM</b> ~ 20 - 100 (at 20°C)	<b>Max Speed</b> 1,8 m/s	<b>Maintenance kit</b> 39BMRV01000C									
<b>CODE</b>		<b>Cu</b>		<b>L</b>		<b>L min</b>		<b>F<sub>0</sub></b>	<b>F<sub>1i</sub></b>	<b>F<sub>1p</sub></b>	<b>V<sub>0</sub></b>			<b>CE</b>			
		mm	inch	mm	inch	mm	inch	Initial force daN lb	End force * daN lb	End force ** daN lb	cm <sup>3</sup>	in <sup>3</sup>	-Kg	-lb	Cat.		
RV 1000 - 010 - A		10	0,39	58	2,28	48	1,89	920 2068  150 bar 2175 psi  ± 5% + 20 °C + 68 °F	1231	2767	1523	3424	25,0	1,53	0,49	1,08	-
RV 1000 - 013 - A		13	0,51	64	2,52	51	2,01		1270	2855	1599	3595	29,0	1,77	0,51	1,12	-
RV 1000 - 016 - A		16	0,63	70	2,76	54	2,13		1299	2920	1658	3727	34,0	2,07	0,54	1,19	-
RV 1000 - 019 - A		19	0,75	76	2,99	57	2,24		1323	2994	1705	3833	39,0	2,38	0,56	1,23	-
RV 1000 - 025 - A		25	0,98	88	3,46	63	2,48		1357	3051	1775	3990	48,0	2,93	0,61	1,34	-
RV 1000 - 032 - A		32	1,26	102	4,02	70	2,76		1384	3111	1832	4118	59,0	3,60	0,67	1,48	-
RV 1000 - 038 - A		38	1,50	114	4,49	76	2,99		1402	3152	1868	4199	69,0	4,21	0,71	1,57	-
RV 1000 - 050 - A		50	1,97	138	5,43	88	3,46		1425	3204	1919	4314	88,0	5,37	0,81	1,79	-
RV 1000 - 063 - A		63	2,48	164	6,46	101	3,98		1442	3242	1955	4395	108,0	6,59	0,91	2,01	-
RV 1000 - 075 - A		75	2,95	188	7,40	113	4,46		1453	3266	1978	4447	127,0	7,75	1,05	2,31	-
RV 1000 - 080 - A		80	3,15	198	7,80	118	4,65		1457	3275	1986	4465	135,0	8,24	1,09	2,40	-
RV 1000 - 100 - A		100	3,94	238	9,37	138	5,43		1468	3300	2011	4521	166,0	10,13	1,21	2,67	-
RV 1000 - 125 - A		125	4,92	288	11,34	163	6,42		1478	3323	2031	4566	205,0	12,51	1,41	3,11	-

Drop-in

Bottom mount  
FB 50 - FBA 50  
FBB 50

FS2 50 - FT 50  
FS2A 50 - FTP 50

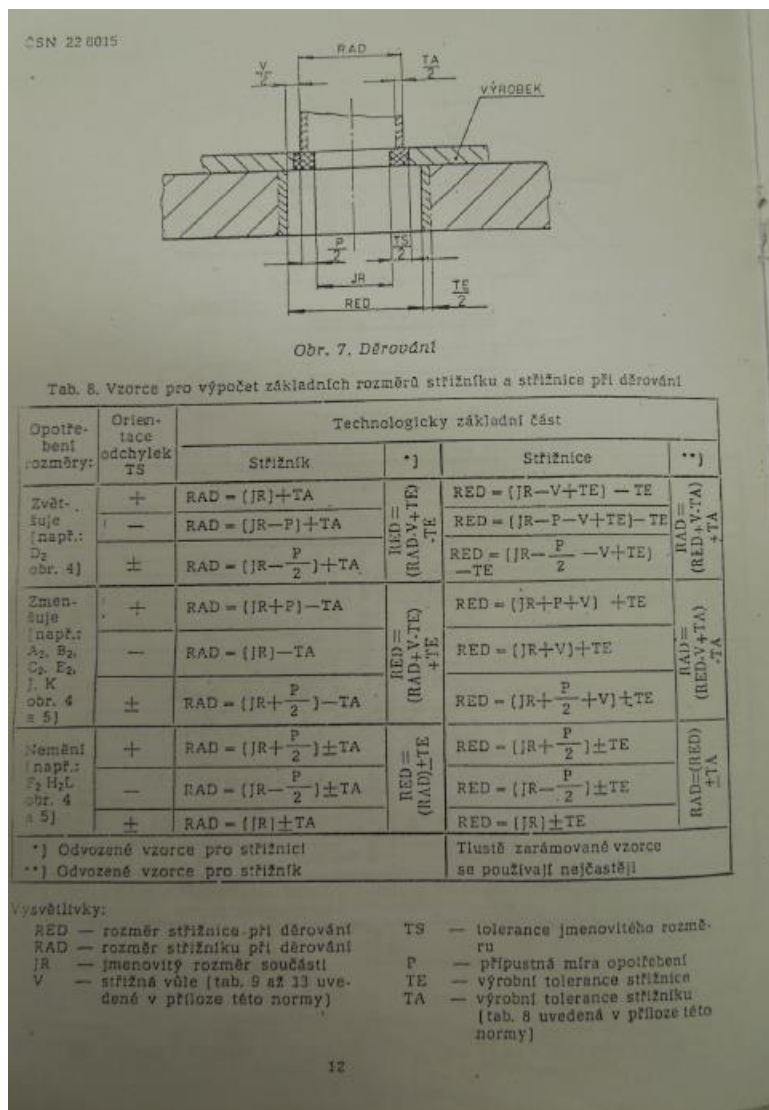
FC 50 A  
FCOC 50

FSA 50  
FSD 50

**HOW TO ORDER**

(10 pcs) RV 1000-050-A  
(10 pcs) RV 1000-050-A-N

## Příloha 5 Vzorce pro výpočet střížníků a střížnic pro děrování [31]



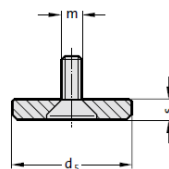
## Příloha 6 Podložka pro vodící sloupek [21]

**FIBRO**

Retaining disc with screw



2021.43.



Material:  
Retaining disc: Steel  
Countersunk head cap screw DIN 7991/ISO 10642

Note:  
For fixing the guide pillars 2021.44., 2021.46. and 2021.29.

2021.43. Retaining disc with screw

Order No	Nominal-ø	Pillar-ø	d <sub>s</sub>	s	m
2021.43.016	16	15/16	22	6	8
2021.43.020	20	19/20	25	6	8
2021.43.025	25	24/25	32	6	8
2021.43.032	32	30/32	40	6	8
2021.43.040	40	38/40	50	6	8
2021.43.050	50	48/50	60	6	8
2021.43.063	63	60/63	70	6	8
2021.43.080	80	80	93	12	12

Příloha 7 Přípustné míry opotřebení [31]

Příloha k ČSN 22 6015

Tab. 13. Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí sítňadel

Rozměry v mm

Tolerance součástí TS		Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance	
od	do		Sítňnice - TE	Sítňníku - TA
0,020	0,025	0,020	0,007	0,004
0,025	0,030	0,025	0,008	0,005
0,030	0,035	0,030	0,009	0,006
0,035	0,040	0,035	0,011	0,008
0,040	0,045	0,040	0,013	0,009
0,045	0,050	0,045	0,016	0,011
0,050	0,060	0,050	0,019	0,013
0,060	0,070	0,060	0,022	0,015
0,070	0,080	0,070	0,025	0,018
0,080	0,090	0,080	0,029	0,020
0,090	0,100	0,090	0,032	0,023
0,100	0,120	0,100	0,036	0,025
0,120	0,140	0,110	0,036	0,025
0,140	0,160	0,120	0,040	0,027
0,160	0,180	0,140	0,044	0,030
0,180	0,200	0,160	0,054	0,035
0,200	0,220	0,170	0,063	0,040
0,220	0,240	0,180	0,072	0,045
0,240	0,260	0,200	0,081	0,052
0,260	0,280	0,220	0,089	0,057
0,280	0,300	0,230	0,099	0,062
0,300	0,320	0,250	0,100	0,062
0,320	0,350	0,270	0,100	0,074
0,350	0,370	0,290	0,120	0,074
0,370	0,400	0,310	0,120	0,087
0,400	0,430	0,330	0,140	0,087
0,430	0,460	0,350	0,140	0,100
0,460	0,500	0,380	0,150	0,100
0,500	0,530	0,410	0,160	0,100
0,530	0,560	0,430	0,160	0,120
0,560	0,600	0,460	0,190	0,120
0,600	0,650	0,500	0,190	0,140
0,650	0,700	0,540	0,220	0,140
0,700	0,750	0,580	0,250	0,160
0,750	0,800	0,620	0,250	0,160
0,800	0,900	0,680	0,290	0,185
0,900	1,000	0,760	0,320	0,210
1,000	1,200	0,820	0,360	0,230
1,200	1,400	1,000	0,400	0,250
1,400	více	1,200		